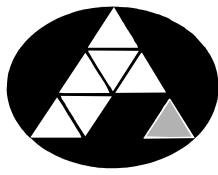


POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Timo Savinainen

OHJATTAVAN TIEPUOMIN SUUNNITTELU

Opinnäytetyö
Toukokuu 2012



POHJOIS-KARJALAN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2012
Kone- ja tuotantotekniikan
koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800 p. (013) 260 6906

Tekijä(t)
Timo Savinainen

Nimeke
Ohjattavan tiepuomin suunnittelu

Toimeksiantaja
Timo Savinainen

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella syrjäseudun olosuhteisiin sekä jatkuvaan arki-
käyttöön soveltuva ohjattava tiepuomi. Tavoitteena oli etsiä tietoa, pohtia, vertailla ja
suunnitella erilaisia vaihtoehtoja, kustannuksia ja käyttövarmuutta silmällä pitäen.

Suunnitteluprosessissa sovellettiin vapaasti VDI 2222 -suunnittelumetodia erilaisten
vaihtoehtojen vertailuun ja valintaan. Lujuuslaskelmat toteutettiin Pro/Engineer ohjelmis-
ton Mechanica-lisäosalla.

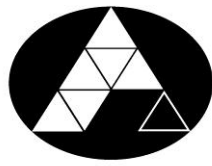
Opinnäytetyö koostuu eri osuuksista, joissa valitaan puomin malli, materiaali, voiman-
lähde, ohjaustapa sekä ohjauksen suunnittelusta. Kyseisissä osioissa pohditaan eri
vaihtoehtoja, sekä niiden ominaisuuksia kuin myös soveltuvuutta projektin toteuttami-
seen.

Tulokseksi saatiin lähtökohdat kyseisen projektin käytännössä toteuttamiseen. Kuitenkin
tulosten perusteella voidaan todeta, että jatkokehitykselle jää varaa. Huomioitavia asioi-
ta jatkokehityksen kannalta ovat CE-merkintä, konedirektiivin tarkempi tulkinta, voiman-
siirron suunnittelu sekä käytettävyyden parantaminen.

Kieli
suomi

Sivuja 52
Liitteet 5
Liitesivumäärä 12

Asiasanat
konseptisuunnittelu, puomit, ohjelmoitavat logiikat



NORTH KARELIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
May 2012
**Degree Programme in Mechanical
and Production Engineering**
FIN 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. 358-13-260 6800

Author(s)
Timo Savinainen

Title
Designing a Controlled Gate

Commissioned by
Timo Savinainen

Abstract

The objective of this thesis was to design a controlled gate which would be suitable for conditions in sparsely populated areas and daily usage. The goal was to search information, weigh, compare and design different alternatives, while paying attention to financial costs and reliability.

VDI 2222 -designing method was used in the designing process to compare and make choices between different alternatives. Structural analysis was made using Pro/Engineer software with a Mechanica add-on.

Thesis consists of different sections, in which gate type, material, power source and controlling method are chosen, as well as designing of controlling system. In these sections different alternatives are considered, as well as their properties and applicability to implementing this project.

Results of the designing process are a basis for implementing the project in practice. However, on the basis of the results, it can be noted that there is still room for further development. Notable issues for further development are CE-approval, further applying of the machinery directive, designing of transmission and improving usability.

Language
Finnish

Pages 52
Appendices 5
Pages of Appendices 12

Keywords

conceptual design, gates, programmable logics

Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	6
1.1	Opinnäytetyön esittely ja rajaus	6
1.2	Projektin taustatietoa	6
1.3	Suunnittelumetodin VDI 2222 esittely	7
2	Rakenteen suunnittelu	8
2.1	Mallivaihtoehdot	9
2.1.1	Saranaportti	9
2.1.2	Liukuportti	10
2.1.3	Puomi	11
2.1.4	Mallin valinta	12
2.2	Materiaalivaihtoehdot	14
2.2.1	Metallit	14
2.2.2	Muovit	17
2.2.3	Puu	18
2.2.4	Materiaalivalinta	19
2.3	Lujuuslaskelmat	20
3	Voimanlähteen valinta	22
3.1	Sähkömoottorin mitoitus	23
3.1.1	Puomista aiheutuvan rasituksen laskenta	23
3.1.2	Moottorin tehontarve	24
3.1.3	Välitys	26
4	Kauko-ohjaus	27
4.1	GSM-moduuli	27
4.2	Kaukosäätimet	28
5	Ohjauksessa käytettävät komponentit	28
5.1	Erilaiset anturityypit	28
5.1.1	Induktioanturi	28
5.1.2	Rajakytkimet	29
5.1.3	Turvareuna	29
5.1.4	Valoverho	30
5.2	RFID-tunnistus	31
6	Ohjauksen automatisointi	32
6.1	Releohjaus ja ohjelmoitava logiikka	33
6.2	Ohjelman toteutus	37
6.3	Ohjelman esittely	39
7	Muuta huomioitavaa	45
7.1	IP-luokitus	45
7.2	Jarrumekanismiin huomiointi rakenteessa	47
7.3	Liikkeen tasapainotus kaasusylinterillä	48
8	Pohdinta	49
	Lähteet	51

Liitteet

Liite 1	Pyöreän 80x2 alumiiniputken lujuustarkastelu
Liite 2	Pyöreän 80x2 teräsputken lujuustarkastelu
Liite 3	Pyöreän 80x5 alumiiniputken lujuustarkastelu
Liite 4	Pyöreän 80x5 teräsputken lujuustarkastelu
Liite 5	Logiikkaohjelma

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön esittely ja rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja pohtia erilaisia vaihtoehtoja automaattisesti sekä manuaalisesti ohjattavan tiepuomin toteutukseen. Pääpaino sijoittuu kuitenkin automaatio- ja ohjauslaitteistojen toteutuksen suunnitteluun. Eri rakennemallien vertailulla ja valinnalla on kuitenkin opinnäytetyössä tärkeä osuus, koska rakenteen perusteella valitaan myös muut käytettävät komponentit.

Työssä sovelletaan VDI 2222 suunnittelumetodia. VDI 2222:sta käytetään pääsääntöisesti osakokonaisuuksien pisteytykseen ja arvosteluun muiden vertailutapojen ohella. Opinnäytetyö itsessään ei sisällä varsinaista uuden tuotteen tuotekehitystä, joten kaikkia suunnittelumetodin osia ei kuitenkaan tarvita.

Tiepuomi suunnitellaan käytettäväksi verkkovirralla, joten puomille ei suunnitella erillisiä akustoja tai muita sähkönsyöttöjärjestelmiä. Mahdolliseen elektroniikan toteuttamiseen tai suunnitteluun opinnäytetyö ei ota kantaa, vaan käytetään valmiita osakokonaisuuksia.

1.2 Projektin taustatietoa

Idea projektin toteutukseen perustuu syrjäseuduilla yleistyvään talojen autioitumiseen. Tämän ilmiön vuoksi varkaudet ja tihutyöt ovat yleistyvä ongelma syrjäseuduilla.

Projektin tavoitteena on suunnitella yksityistielle käyttöön soveltuva puomi, jonka läpi tien omistaja pääsee ongelmitta kulkemaan. Halutessaan puomin omistajan tulee myös pystyä laskemaan vieraat puomin läpi, tai antamaan vieraille pysyvän kulkuluvan, jolloin puomin aukaisuun ei tarvitse nähdä erillistä vaivaa.

Puomin täytyy siis soveltua jatkuvaan arkikäyttöön, ilman ylimääräistä ajan kulu- tusta tai vaivannäköä.

Tarve projektin toteutukseen ilmenee siinä, että pääsääntöisesti tämänhetkinen markkinatarjonta soveltuu kaupunkiolosuhteisiin ja isompiin kokonaisratkaisui- hin. Esimerkiksi kaupunkialueilla on sähkökatkoksien sattuessa usein saatavilla varavirtageneraattori, jolla voidaan pitää tiepuomi tai portti toiminnassa. Yksi- tyiskäyttöön menevässä projektissa pääpaino sijoittuu yksinkertaiseen raken- teeseen sekä mahdollisuuteen huoltaa ja ylläpitää kyseistä kokonaisuutta.

1.3 Suunnittelumetodin VDI 2222 esittely

Lyhyesti esiteltynä VDI 2222 on saksalaisten kehittänyt suunnittelumetodi, joka jakaantuu neljään eri perusvaiheeseen:

Tehtävänasettelun selvittely

Ensimmäisessä vaiheessa määritellään, mihin ongelmaan haetaan ratkaisua, ja mitkä ovat vaatimukset kyseiseen ongelmaan halutulta ratkaisulta. Näiden vaa- timuksien pohjalta luodaan vaatimuslista, jossa määritellään vähimmäisvaati- mukset (VV), kiinteät vaatimukset (KV), sekä toiveet (T). [1, s. 62–70.]

Luonnostelu

Luonnosteluvaiheessa tehtävänmäärittely abstrahoidaan eli pelkistetään. Tä- män vaiheen tavoitteena on purkaa ongelma ydintekijöihinsä, jotta voidaan tar- kasti määritellä, mihin halutaan ratkaisua, ja hylätä irrelevantit ominaisuudet ympäriltä. Tällä tavoin päästään ongelman ytimeen, jotta voitaisiin tutkia, kehittä- ää ja soveltaa uusia ratkaisumalleja ongelman ratkaisuun. Myös eräs syy abst- rahoinnin tärkeyteen on ihmisen vahva taipumus soveltaa aiempaa kokemusp- räistä tietoa. Tällä tavoin pyritään välttämään sulkeutunutta ajatusmallia kehitys- työssä. [1, s. 72–80.]

Abstrahoinnin jälkeen tuote pilkotaan osatoiminnoiksi. Tämän toteutuksen idea- na on vastata jokaiseen haluttuun toimintoon tai ominaisuuteen parhaalla mah- dollisella tavalla, yhden geneerisen kokonaisuuden sijasta. [1, s. 81–83.]

Kehittely

Kehittelyvaiheessa suunnitellaan tuotteen toteuttaminen käytännössä. Tässä vaiheessa huomioidaan erilaiset mahdolliset työstötavat, taloudelliset- tai muut tekijät, joiden perusteella tuotteen toteutus käytännössä määritellään. [1, s. 176–396.]

Viimeistely

Viimeistelyvaiheen suurimpana osuutena on yleisesti tuotteen piirustusten sekä tuotteen toteutukseen liittyvän dokumentoinnin toteutus. Viimeistelyn jälkeen voidaan aloittaa varsinainen tuotanto. [1, s. 458–483.]

2 Rakenteen suunnittelu

Projekti aloitetaan valitsemalla puomin tai portin rakenne. Rakennemallista tehdään VDI 2222 -mukainen vaatimusluettelo, jossa voidaan listata vaaditut ja toivotut ominaisuudet.

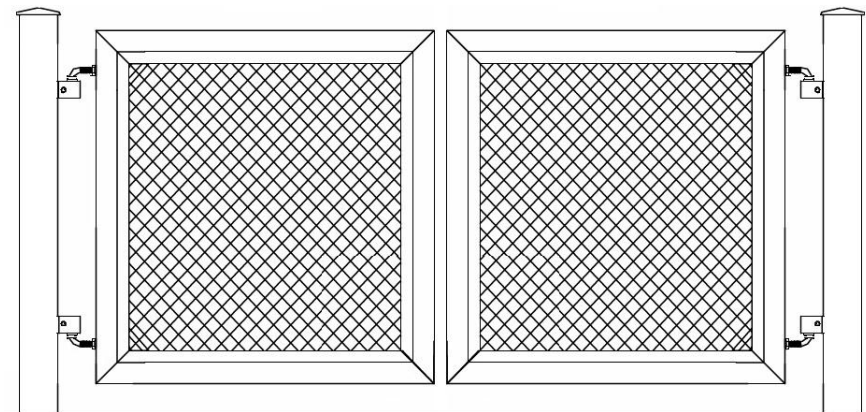
Valitun puomin tai portin rakenteella ei käytännössä ole suurta merkitystä puomin päätarkoitukseen, koska kaikilla esiteltävillä malleilla pystytään toteuttamaan ajoneuvokulun estäminen. Kuitenkin rakennemallia valittaessa tulee ottaa huomioon materiaalikustannukset ja se, kuinka kyseinen rakenne vaikuttaa ohjaukseen ja automatisointiin.

Eri rakennemalleilla on suora vaikutus toteutukseen vaadittaviin antureihin, mekanismeihin ja voimansiirtoon. Valintaa tehdessä käydään läpi yleisimmät rakennemallit, ja pisteytetään näiden käyttöarvo pisteytyspainotuksen mukaisesti, ja valitaan parhaiten käyttötarkoitukseen soveltuva puomi. Puomia valitessa pyritään optimaaliseen ratkaisuun, jolloin voidaan toteuttaa ajoneuvokulun esto minimaalisilla investointien määrällä.

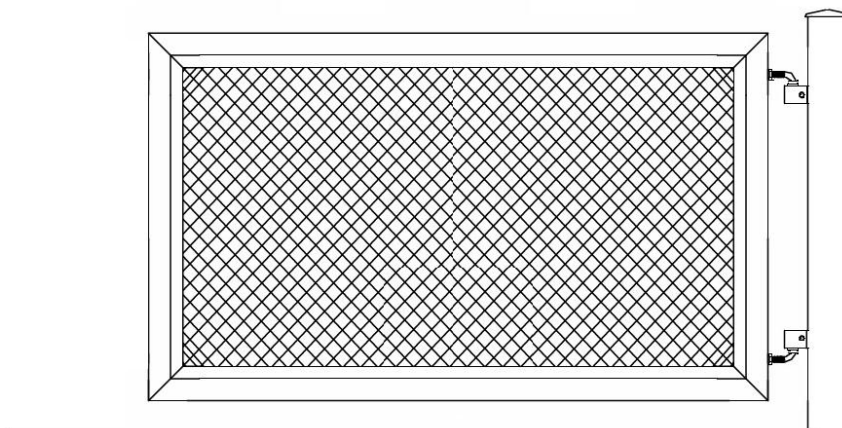
2.1 Mallivaihtoehdot

2.1.1 Saranaportti

Yksi harkittavista vaihtoehdoista on saranaportti. Saranaportti on yleisesti käytetty malli sekä henkilö- että ajoneuvokulun estämiseen. Kuitenkin kokoluokat vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan huomattavasti.



Kuva 1. Vaihtoehto 1: malliesimerkki kaksiosaisesta saranaportista Pur-Ait Oy:n tuotekatalogista [2 soveltaen]



Kuva 2. Vaihtoehto 2: malliesimerkki yksiosaisesta saranaportista Pur-Ait Oy:n tuotekatalogista [2 soveltaen]

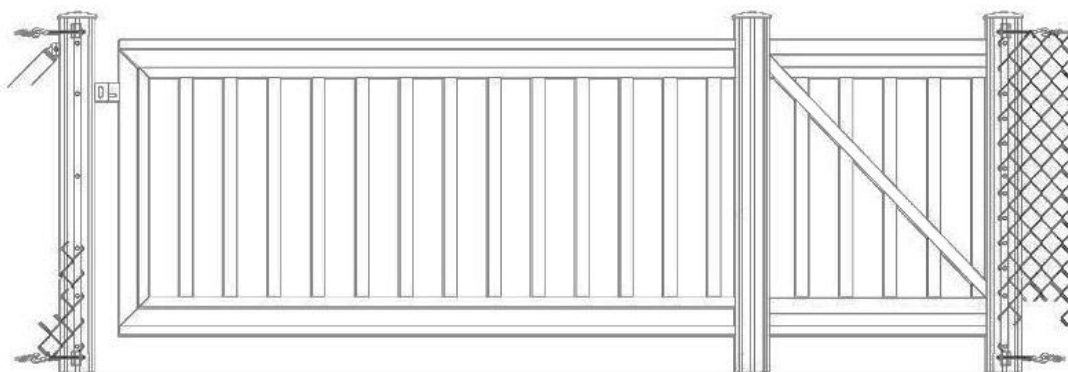
Kuvissa 1 ja 2 esitelty saranaportti soveltuu rakenteensa vuoksi hyvin sekä henkilö- että ajoneuvokulun estämiseen. Tässä tapauksessa tarkoituksena kuitenkin on estää pelkästään ajoneuvojen kulku yksityistiellä, joten ylimääräinen

korkeus ja leveys ovat haitallisia ylimääräisen painon ja materiaalikustannusten muodossa.

Saranaportissa tulee huomioida myös saranoiden varassa avautuvan portin liikerata. Tällöin huomioidaan portin 90° avautumiskulma sekä avautumissuunta. Saranaportin aukaisussa tulee huomioida myös turvallisuuden kannalta, ettei ajoneuvo pysty jäämään portin avausalueelle. Käytännössä portin avautumissäde voidaan puolittaa muuttamalla rakenne kaksiosaiseksi, mutta tämä tarkoittaa käytännössä lisäinvestointeja automatiikan ja mekaniikan muodossa. Kaksiosainen portti soveltuu hyvin leveiden tiekaistojen sulkemiseen. Etuna on kuitenkin, ettei portin läpi kulkiessa tarvitse alittaa mitään rakenteita, jolloin laitteen pettäessä ei ole alle jäämisen vaaraa.

2.1.2 Liukuportti

Liukuporttia suositaan yleensä tehdasalueilla sekä muilla suljetuilla tuotantoalueilla sen leveän sulkualan takia. Liukuporttia sovelletaan yleensä pelkkään ajoneuvokulun estämiseen, vaikka sitä voidaan käyttää myös henkilökulun estämiseen. Liukuportin aukaisu on yleensä hidas, jolloin henkilökululle käytetään erillistä kulkureittiä.



Kuva 3. Vaihtoehto 3: malliesimerkki liukuportista Pur-Ait Oy:n tuotekatalogista [2]

Kuvan 3 mukaista liukuporttimallia käytetään pääsääntöisesti muun aitauksen yhteydessä. Liukuportin liikerata toteutetaan yleensä laakeroinnin avulla.

Kyseisen portin etuna on sen sivuttaissuuntainen aukaisutapa. Tämän vuoksi portilla ei ole esimerkiksi saranaportin tapaan vaara-aluetta aukaisun aikana. Myöskään sivulle ajettavalla portilla ei ole ylös nostettavan puomimallin riskiä romahtaa alikulkevan ajoneuvon päälle. Sivuttaissiirto on kuitenkin ongelmallinen, koska liukuportti soveltuu parhaiten muiden aitojen jatkoksi, eikä niinkään erilliseksi osaksi syrjäseudulla olevaa yksityistietä. Tässä tapauksessa ongelmaksi muodostuu myös se, että portti siirrettäisiin kokonaan pientareen tai metsikön puolelle. Tällöin tulisi huomioida, että tien sivulla on riittävästi tilaa, sekä huomioida erilaiset ulkotiloihin liittyvät rajoittavat tekijät, esimerkiksi talvella lumeen hautautuminen.

2.1.3 Puomi

Nostopuomi on yleisin tieliikenteen hallinnassa näkyvä malli. Kyseinen puomimalli on luotettava, ja se sopii käyttökohteisiin, joissa on paljon avauksia päivittäin.



Kuva 4: Vaihtoehto 4: malliesimerkki puomista Pur-Ait Oy:n tuotekatalogista [2 soveltaen]

Kuvan 4 mukainen puomi on toiminnaltaan nopea, jolloin avauksen ja sulun välissä oleva viiveaika jää pieneksi. Henkilökulun estämiseen se ei kuitenkaan sovellu, koska sen voi kiertää täysin ongelmitta. Yksinkertaisen rakenteen ansiosta paino jää vähäiseksi verrattuna muihin rakenteisiin, joissa tavoitteena on ajoneuvokulun lisäksi estää myös henkilökulku.

2.1.4 Mallin valinta

Jotta välttyttäisiin VDI 2222:n esittelyssä mainitussa kokemusperäisen tiedon jatkuvalta soveltamiselta, rakennemallin valintaa varten listataan rakenteelta vaaditut ominaisuudet. Tähän sovelletaan VDI 2222 mukaista vaatimusluetteloa.

KV,VV,T	VAATIMUS/TOIVOMUS
KV	TIEN SULKEMINEN (Koko projektin päätavoite on estää ei-haluttu kulku tiellä)
T	MASSA (Ylimitoittaminen aiheuttaa ylimääräisiä rasituksia ja vaatii enemmän käyttövoimaa, pyritään vähäiseen massaan)
T	LUJUUS (Puomi voidaan suunnitella kestävämmän myös mahdolliset törmäykset tai iskut)
T	KUSTANNUKSET (Pyritään pitämään toteutus ja käyttökustannukset pieninä)
VV	TURVALLISUUS (Standardit/direktiivit, varmistus ettei puomista voi aiheutua tapaturmia)

Kuvio 1. Vaatimusluettelo

Kuviossa 1 listataan systemaattisen suunnittelumetodin VDI 2222 mukaisesti puomille tai portille halutut ominaisuudet. Ainoa kiinteä vaatimus mallin valinnassa on soveltuvuus tien sulkemiseen, jota ilman mikä tahansa malli on toteutuksen kannalta käyttökelpoton.

Taulukko 1. Pisteytys eri rakennevaihtoehdoille

Vaatimukset	Rakennevaihtoehdot			
	1	2	3	4
Tien sulkeminen	4	4	4	5
Massa	3	3	3	5
Lujuus	3	3	3	2
Kustannukset	2	3	4	5
Turvallisuus	4	4	4	3
Yhteensä:	16	17	18	20

Rakenteen valinnassa eri mallien ominaisuudet pisteytetään ja pisteytyksen summan perusteella valitaan soveltuvin malli. Pisteytys tapahtuu 1–5 pisteen välillä, pienemmän pistemäärän ollessa huonompi.

Tien sulkemisessa muut vaihtoehdot verrattuna vaihtoehto 4:ään saavat pisteen verran huonomman arvioinnin, koska niiden rakennemallit ovat suunniteltu myös henkilökulun estämiseen ajoneuvokulun estämisen lisäksi. Koska tätä ominaisuutta ei tarvita, kyseessä on ylimääräinen ominaisuus, joka vaikuttaa myös muuhun arviointiin.

Massan arvioinnissa vaihtoehto 4 saa paremman pisteytyksen kuin muut, mikä johtuu rakenteen huomattavasti pienemmästä koosta. Lujuusarvostelussa taas rakenteet 1–3 ovat parempia juuri niiden suuremman rakenteen vuoksi. Kustannuksissa arvioidaan vapaasti, kuinka paljon mekanismit sekä materiaalikulut aiheuttavat kuluja kyseisillä malleilla.

Turvallisuudessa mallit 1–3 saavat paremman pisteytyksen, mikä johtuu niiden maanpinnan mukaisesta liikeradasta. Mallilla 4 on olemassa romahtamisen riski, mutta tämä voidaan helposti estää erilaisilla varmistuksilla tai moottori- ja vaihteistovalinnoilla.

Taulukon 1 mukaisen pisteytyksen perusteella valitaan vaihtoehto 4.

2.2 Materiaalivaihtoehdot

Puomimateriaalien valinnassa suositaan yleisesti kevyitä materiaaleja. Tämä johtuu niiden mekanismeille ja voimansiirtoon aiheuttamista vähäisistä rasituksista. Raskaampia materiaaleja käytettäessä rasitukset ja jännitykset kasvavat, mikä aiheuttaa lisämitoituksen tarpeen. Tästä myös koituu pääsääntöisesti lisäkustannuksia. Yleisiä materiaalivaihtoehtoja ovat esimerkiksi alumiini, teräs, muovi tai puu. Materiaalivalintoja tehtäessä tulee huomioida Suomen olosuhteet, mihin sisältyy korkeita lämpötilavaihteluja ja auringonsäteilystä aiheutuva UV-säteily.

Puomin pituudeksi valitaan 3000 mm. Erilaisten vaihtoehtojen painoon ja kestävyysliittyviä ominaisuuksia vertaillaan Pro/Engineer-ohjelmiston avulla.

2.2.1 Metallit

Metalleista vaihtoehtoina vertaillaan alumiinia ja terästä. Alumiinin etuina ovat pienempi tiheys ja hyvä korroosionkesto. Teräs on huomattavasti tiheämpää, mutta sen lujuusominaisuudet ovat paremmat.

Taulukko 2. Alumiinin ominaisuuksia [3, s. 427–439, taulukot 1 ja 3]

Materiaali	Massan tiheys [kg/m^3]	Kimmomoduuli [GPa]	Myötöraja [MPa]	Murtolujuus [MPa]
Alumiini	2710	70	20	45

Taulukko 3. Esimerkkejä terästen fysiologisista ominaisuuksia [3, s. 427, taulukko 1].

Materiaali	Massan tiheys [kg/m^3]	Kimmoduuli [GPa]
Seostettu teräs	7850	190...210
Ruostumaton teräs	7900...8000	190...200

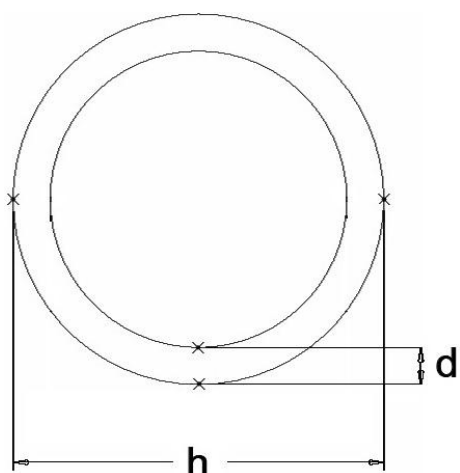
Terästen lujuusominaisuudet voivat kuitenkin vaihdella paljonkin eri seostusten ja valmistustapojen perusteella. Myötöraja voi vaihdella eri laatujen kesken 185–295 megapascalin välillä, sekä murtolujuus 290–680 megapascalin välillä [3, s. 435, taulukko 13].

Pinnoitukset

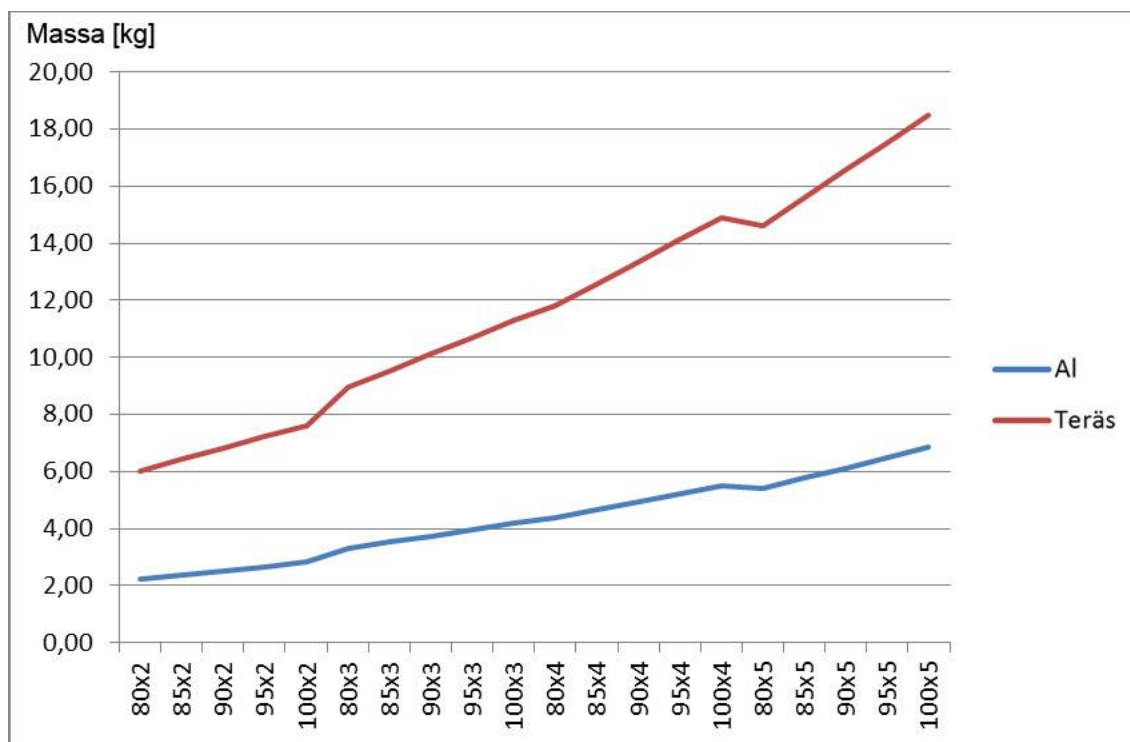
Ulkotiloihin sijoitettava puomi joutuu alttiiksi korroosiolle sekä UV-säteilylle. Alumiini itsessään on jo hyvin korroosiokestävä materiaali, eikä ole altis ilmasta tai vedestä aiheutuvalle korroosiolle. Alumiinin korroosiokestävyys perustuu pinnan hapettumiseen, jolloin tästä aiheutuva oksidikerros antaa käytännössä tiiviin suojan korroosiota vastaan [4]. Kuitenkin vain täysin puhdas alumiini on korroosionkestävää, jolloin esimerkiksi puolivalmisteet tulee suojata tai pintakäsitellä. [5, s. 14.]

Yleensä kuitenkin ulkotiloihin sijoitettavia metallipintoja käsitellään sinkityksellä, tai maalipinnoitteella. Yleisimmät sinkitysmetodit ovat sähkösinkitys sekä kuumasinkitys [5, s. 160–163]. Sinkityksen korroosiolta suojaava vaikutus perustuu sinkin ominaisuuksiin epäjalona metallina, eli sinkki hapettuu helposti, jolloin sen pinnalle syntyy oksidikerros. Vaikka alumiinillakin on sille ominainen oksidikerros, esimerkiksi anodisoimalla saadaan kovempi, kestävämpi ja vähemmän korroosiolle altis oksidikerros. [5, s. 161.]

Maalipinnoitteilla ei yleensä ole muita vaatimuksia kuin kestävyys UV-säteilyä vastaan. Ilman UV-suojausta maalit rapistuvat jatkuvassa altistuksessa aurin-
gonvalolle. Yleensä sinkitystä ja maalipinnoitetta käytetään toisiaan tukevina pinnoitteina sinkin ollessa pohjakerroksena ja maalin pintakerroksena.



Kuva 5. Putken mitat



Kuvio 2. Puomin eri rakenteille lasketut massat

Kuviossa 2 on laskettu alumiinisten ja teräksisten putkimallien massat. Putkimallit ovat ilmaistu kuvan 5 mukaisesti, ulkomitta x seinämäpaksuus. Laskuissa on käytetty alumiinin tiheydeksi 2700 kg/m^3 sekä teräksen tiheydeksi 7850 kg/m^3 . Putkirakenteiden tilavuudet laskettiin Pro/Engineer-ohjelmiston avulla, ja kyseisistä tilavuuksista tehtiin taulukko. Tämän jälkeen tilavuuden ja eri metallien tiheyksien tulolla laskettiin eri putkimallien massat.

2.2.2 Muovit

Muovit ovat yksi vaihtoehdoista puomin toteuttamiseksi. Muovilaadun tulee soveltua ulkokäyttöön, jolloin huomioitavia asioita ovat esimerkiksi eri lämpötiloihin soveltuvuus sekä UV-säteilykestävyys. Eri laatujen kesken on suuriakin eroja teknisissä ominaisuuksissa. Eri valmistustavoilla ja lisäaineilla pystytään kuitenkin vaikuttamaan ominaisuuksiin huomattavasti.

Harkittavat vaihtoehdot ovat polypropeeni (PP) sekä polyvinyylidikloridi (PVC). Molempia materiaaleja käytetään yleensä ulkokalusteissa sekä puutarhatuotteissa. Erilaisia muovilaatuja on kuitenkin olemassa huomattavan laaja valikoima, joita ei kaikkia tässä opinnäytetyössä käsitellä.

Huonot puolet	Ongelmia käytettäessä
Alhainen kimmomoduuli, alhainen lujuus hyvin korkeissa ja hyvin matalissa lämpötiloissa	Konstruktiomateriaalina tapauksissa, jossa materiaali on taipuvaista virumaan
Rajallinen UV-kestävyys	Rakenneosiin, jotka altistuvat ilmaston vaikutuksille

Kuvio 3. Muovirakenteiden negatiivisia ominaisuuksia [5, s. 17]

PP		PVC	
+	-	+	-
Hyvä väsymislujuus	Haurastuu -20 °C:ssa	Jäykkä, luja	Ei kestä korkeita lämpötiloja
Hyvä jännitys-säröilyn kesto	Ilman stabilointia UV-herkkä	Kemiallisesti kestävä	Hauras kylmissä lämpötiloissa
Halpa	Vaikea liimata ja pintakäsitellä	Halpa	Suuri tiheys verrattuna kesto-muoveihin
Täyteaineiden ja lujitteiden käyttö mahdollista	—	Ominaisuudet laajasta muokattavissa lisäaineilla	—

Kuvio 4. Muovilaatujen ominaisuuksien vertailu [6]

Painoverailussa käytetään rakennemalleina 80x2 putkea sekä ulkomitoiltaan vastaavaa umpinaista rakennetta. Tällöin putkirakenteen tilavuus olisi $0,0007687 \text{ m}^3$, sekä umpirakenteisen $0,0151 \text{ m}^3$.

Polypropeenin tiheys on noin 1000 kg/m^3 , kun PVC:n tiheys on noin 1400 kg/m^3 [5]. Tällöin polypropeenista tehdyn putken paino on 0,77 kg ja umpiraikenteen paino 15,1kg. Vastaavien kappaleiden painot polyvinyylikloridista olisivat putkena 1,08 kg ja umpinaisena 21,14 kg.

2.2.3 Puu

Vertailuun käytetään aiempien kappaleiden mukaisesti puomia, jonka ulkohalkaisija on 80 mm ja seinämäpaksuus 2 mm. Alumiininen puomi painaisi 2,23 kg sekä teräksestä valmistettuna 6,03 kg. Jos vastaavanlainen puomi haluttaisiin valmistaa puusta, puomin tulisi olla valmistusteknisistä syistä rakenteeltaan umpinainen. Tällöin saadaan tilavuudeltaan $0,0151 \text{ m}^3$ oleva puomi.

Taulukko 4. Eri puulaatujen tiheydet [7]

Puulajit:	min.	max.	mittayksikkö
Mänty	370	550	kg/m^3
Kuusi	300	470	kg/m^3
Koivu	590	740	kg/m^3

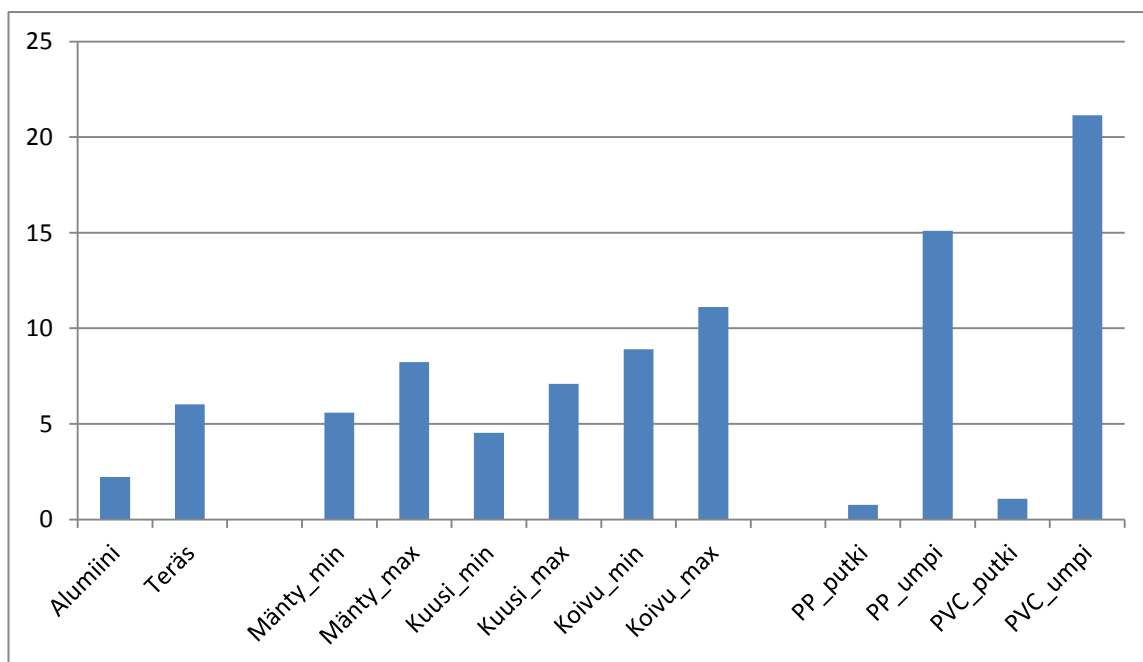
Taulukko 5. Taulukon 4 tiedoilla lasketut painot

Puulaji	Minimi/Maksimi	Massa (kg)
Mänty	Minimi	5,58
	Maksimi	8,23
Kuusi	Minimi	4,53
	Maksimi	7,09
Koivu	Minimi	8,90
	Maksimi	11,12

Taulukossa 5 on laskettu puisten puomimallien massat. Laskuissa on käytetty aiemmin mainittua $0,0151 \text{ m}^3$ tilavuutta sekä taulukossa 4 esitettyjä tiheyksiä.

2.2.4 Materiaalivalinta

Käytettävän materiaalin soveltuvuus ulkotiloihin on yksi tärkeimmistä huomioitavaista ominaisuuksista. Kuitenkin puomin massa on olennainen tekijä valintaa tehdessä, koska sillä on suurin vaikutus voimanlähteen sekä voimansiirron valintaan.



Kuvio 5. Eri materiaaleiden painovertailu kilogrammoissa

Kuviossa 5 on yhteenveto kuvion 2, taulukon 5 sekä kappaleen 2.2.2 tiedoista. Kuten kuviosta 5 voidaan nähdä, umpinaiset rakenteet ovat huomattavasti raskaampia kuin mitä vastaavilla ulkomitoilla toteutetut putkirakenteet.

Kevyin vaihtoehto on muovista toteutetut putkirakenteet. Seuraavaksi kevyin vaihtoehto on alumiiniputki. Prosentuaalisesti verrattuna kevyimmän alumiiniputken ja polypropeeniputken ero on merkittävä, mutta kuitenkin voimansiirtoon nähden painoerolla ei ole juurikaan merkittävää vaikutusta.

Kokonaisuutena vertaillen puulla ei ole juurikaan merkittäviä ominaisuuksia tai etuja, jotta sen valintaa voitaisiin perustella. Puu on materiaalina kuitenkin edullista ja helposti saatavilla. Muovin etuna on sen huomattavan pieni paino muihin rakenteisiin nähden, mutta muovi ei välttämättä kuvioiden 3–4 mukaisesti ole soveltuvin materiaali ympärivuotiseen ulkotilakäyttöön.

Metallin eduksi tulee kuitenkin parempi työstettävyys. Puomille voidaan mahdollisesti joutua tekemään jälkikäteen rakenteellisia muutoksia tai korjaustöitä, jolloin metalli on parempi valinta muoviin verrattuna. Näin ollen puomiksi valitaan 80x2 alumiiniputki.

2.3 Lujuuslaskelmat

Puomin rakenteen vaatimusluettelossa listattiin toiveeksi rakenteen kestävyys. Lujuuslaskelmilla tarkastellaan mahdollisuuksia toteuttaa tiepuomin rakenne niin, että se voisi kestää henkilöajoneuvoista aiheutuvia törmäyksiä.

Puomiin lasketaan Newtonin toista lakia soveltaen auton törmäyksestä puomiin aiheutuva voima. Tällöin $F = ma$, eli puomiin aiheutuva voima on kiihtyvyyden ja massan tulo. Henkilöautolla, tässä tapauksessa esimerkkinä käytetään vuosimallin 2012 Toyota Corollaa, auton massa on 1735 kg [8]. Tapauksessa oletetaan, että maantiellä henkilöauton nopeus on 50 km/h, joka on noin 13,89 m/s. Jos oletetaan, että henkilöauto pysähtyisi puomiin täysin sekunnin aikana, kiihtyvyys on kyseisenä hetkenä nopeuden vastaluku, $-13,89 \text{ m/s}^2$.

$$F = ma = 1735 \text{ kg} * 13,89 \text{ m/s}^2 = 24099,15 \text{ N} \approx 24 \text{ kN}.$$

Kyseistä voimaa käytetään ohjelmistopohjaisessa lujuuslaskennassa. Lujuuslaskenta toteutetaan Pro/Engineer -ohjelmiston Mechanica-lisäosalla. Metallien fysiologiset ominaisuudet mallinnuksessa ovat Mechanical materiaalikirjastosta. Lujuusmallinnuksessa voima sijoitetaan viivamaisena voimana kohtisuorasti putken ulkoreunaa kohden, voiman jakautuessa tasaisesti henkilöauton leveyttä vastaavalle alueelle, 1760 millimetrille [8].

Kuten liitteissä 1 ja 2 olevista tuloksista voidaan todeta, alumiiniselle 80x2 putkelle aiheutuva maksimipääjännitys on 2198,7 MPa sekä von Mises 1940,5 MPa. Vastaavalle teräsputkelle saadut tulokset ovat minimipääjännitys 2044,7 MPa sekä von Mises 1832 MPa.

Liitteissä 3 ja 4 putkien seinämäpaksuudet ovat nostettu viiteen millimetriin. Kuitenkin alumiinisella putkella maksimipääjännitys on 911,4 MPa sekä von Mises 804,4 MPa. Teräsputkella maksimipääjännitys on 855 MPa sekä von Mises 766,1 MPa.

Vakiovääristymisenergiähypoteesi (VVEH) sekä maksimipääjännityshypoteesi (MPJH) ovat erilaisia vauriohypoteeseja. VVEH hypoteesilla laskettua arvoa kutsutaan myös Von Mises arvoksi, hypoteesiä kehittäneen Richard Von Misesin mukaan. Vertailuun käytetään kahta eri hypoteesia, koska ei ole olemassa yhtä yleispätevää vaurioteoriaa, jonka avulla pystyttäisiin määrittelemään täysin eri rakenteiden varmuusluvut myötämisen tai murtumisen suhteen. [3, s. 339–355.]

Vertaillessa taulukoiden 2–3 arvoja liitteiden 1–4 tuloksiin, voidaan todeta että murtolujuus sekä myötöraja ylittyvät radikaalisti. Kahden millimetrin seinämäpaksuudella alumiinisella puomilla laskettu vääntymä olisi noin 19 senttimetriä, sekä teräksisellä noin seitsemän senttimetriä. Ohjelma kuitenkin laskee muodonmuutoksen orjallisesti laskutapojen ja kaavojen avulla, eikä näin ollen saada varmuutta, millä tapaa puomi fyysisesti vaurioituisi.

Tuloksiin tulee kuitenkin huomioida konvergenssi, joka määrittelee kuinka paljon kyseisissä tuloksissa voi olla vääristymiä tai heittoja. Esimerkiksi muodonmuutoksien tuloksissa konvergenssi on 100 %, jolloin kyseisiä tuloksia voidaan pitää korkeintaan suuntaa antavina, eikä juurikaan luotettavina. Jännityksissä kuitenkin konvergenssi on yleensä muutaman prosentin luokkaa.

Suurin rasitus simuloinnissa kohdistuu kuitenkin puomin päätyihin, joista puomi on määritelty kiinteästi tuetuksi. Vaikka puomi saataisiin kestävämmän törmäykset, puomien kiinnitykset ovat kuitenkin kokonaisuuden heikoin osuus. Kuitenkin tuloksista voidaan päätellä, ettei normaalin henkilöajoneuvon törmäystä voida torjua kevyillä rakenteilla.

Pelkästään puomin mitoittaminen törmäyksen kestäväksi vaatisi huomattavasti vahvemman rakenteen kuin mitä optimaalisen keveyden ja moottorin rasitusten minimointiin perustuva rakenne olisi. Tällöin puomille tulisi huomioida myös

kiinnikkeet, jotka kestäisivät törmäyksen, sekä huomioida puomirakenteen kiinnitys maaperään, esimerkiksi betonoidun jalustan avulla.

VDI 2222:n mukaisessa vaatimusluettelossa lujuus on listattu toiveena, ei vähimmäisvaatimuksena tai kiinteänä vaatimuksena. Tästä johtuen kyseinen toive voidaan jättää toteuttamatta, koska voidaan todeta sen toteuttamiseen vaadittujen kustannusten olevan kohtuuttomia verrattuna saatuun hyötyyn.

3 Voimanlähteen valinta

Koska puomin halutaan toimivan automaattisesti ilman ylimääräistä aukaisuun liittyvää työtä, puomille tulee valita puomin avaamiseen käytettävä voimanlähde. Vaikka voimanlähde koteloidaan, tulee huomioida ulkotiloihin liittyvät rajoittavat tekijät.

Toimilaite	Edut	Haitat	Käyttösovellukset
Sähköinen	-Yksinkertaisuus -Ei tarvetta välityksille -Hyvä dynamiikka - Hyvä hyötysuhde	-Pienempi vääntö kuin hydraulikalla	-Työstökoneet -Robotit -Automaatit
Hydraulinen	-Suuret vääntömomentit - Suuri tehotehous	- Paineistusverkon tarve -Mahdolliset öljyvuodot - Huollon tarve	-Metallien työstö -Raskaat koneet -Pumput
Pneumaattinen	-Halpa -Yksinkertainen -Vähähuoltonen -Ei riskiä välityksineen vuodoista -Soveltuu tarkkoihin sovelluksiin	-Paineistusverkon tarve -Huono hyötysuhde -Heikko	-Elintarvike- ja pakkaussovellukset -Paloalttiit liikkeenohjauksovellukset -Työkalupäät

Kuvio 6. Eri voimanlähteiden ominaisuuksia [9]

Kuviossa 6 vertaillaan eri voimanlähteiden etuja sekä haittoja. Sähkömoottorin etuna muihin voimanlähdetyyppisiin on, ettei sähkömoottori tarvitse toimiakseen paineistusverkkoa. Tämä vähentää huomattavasti järjestelmän toteuttamisesta aiheutuvia kustannuksia, toteuttamiseen kuluva aikaa sekä vähentää ylläpidon ja huollon tarvetta. Etuna on myös esimerkiksi hydrauliseen järjestelmään verrattuna, ettei lämpötilojen laskiessa kärsitä välityksineen viskoosisten ominaisuuksien muutoksista.

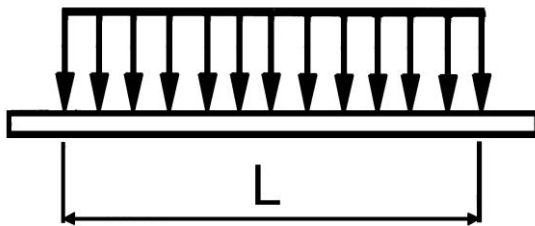
Hydraulisessa järjestelmässä on myös öljyvuotojen riski, mikä on ulkotiloihin sijoitettavassa laitteessa myös ympäristöriski. Pneumatiikalla tätä riskiä ei taa- sen ole, mutta tällöin ongelmana on saatava rajallinen käyttöteho. Näiden pe- rustelujen pohjalta valitaan voimanlähteeksi sähkömoottori.

3.1 Sähkömoottorin mitoitus

3.1.1 Puomista aiheutuvan rasituksen laskenta

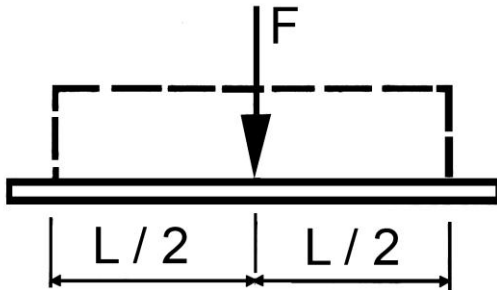
Koska puomi on päätyjä lukuun ottamatta kauttaaltaan yhden mallinen, puomin paino voidaan käsitellä tasaisena kuormituksena. Kuten kappaleessa 2.3 on jo aiemmin todettu, puomia ei voida juurikaan toteuttaa mielekkäästi niin, että se kestäisi iskuja ja törmäyksiä. Tästä syystä rakenteeseen valittiin käytettäväksi kevyin mahdollisin metallista valmistettu malli, 80x2 alumiiniputki. Kyseisen puomimallin paino on 2,23 kg, joka jakautuu tasaisesti pitkin puomin pituutta 3000 mm matkalle.

Ensin puomin massasta lasketaan maan vetovoimasta aiheutuva nostoa vas- tustava voima. $F = 2,23 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 21,88 \text{ N} \approx 22 \text{ N}$



Kuva 6. Tasainen kuormitus $q = 22 \text{ N}/3000 \text{ mm}$

Kuvassa 6 esitelty tasainen kuormitusmalli voidaan muuttaa laskutoimitusta var- ten pistekuormaksi [10, s. 66]. Kuormitus muutetaan pistekuormaksi, jotta voi- daan laskea moottorille aiheutuva rasitus.



Kuva 7. Pistekuormitus

Koska halutaan laskea moottorille puomin avaamisesta aiheutuva momentti, lasketaan kuvan 7 mukaisen pistekuormitusmallin mukaisesti puomin massasta aiheutuva voima kerrottuna vääntövarrella [10, s. 66].

$$T = F * \frac{L}{2} = 22 \text{ N} * \frac{3000 \text{ mm}}{2} = 22 \text{ N} * 1500 \text{ mm} = 33 \text{ Nm}$$

3.1.2 Moottorin tehontarve

Moottoria valitessa puomille tulee valita avautumisaika. Yleensä ajat ovat muutamia sekunteja. Kuitenkin mitä nopeammin puomi avautuu, sen suuremmat rasisuspiikit sähkömoottorille aiheutuvat puomin avaamisen alussa ja lopussa.

Jos puomi avautuu 90° kulmassa, ja avautumisajaksi halutaan esimerkiksi viisi sekuntia, tulee kulmanopeudeksi $90^\circ / 5 \text{ s} = 18^\circ$ sekunnissa. Tällöin kierrosnopeudeksi saadaan $\frac{60\text{s} * 18^\circ / \text{s}}{360^\circ} = 3 \text{ RPM}$.

Kun tiedetään haluttu kierrosnopeus, voidaan moottorille aiheutuvan vääntömomentin ja kierrosnopeuden avulla laskea moottorin tehontarve.

$$P = n * \frac{T}{9550}$$

jossa

- P = tehontarve kilowatteina
- n = moottorin kierrosnopeus
- T = moottorille aiheutuva vääntömomentti
[11, s. 790–801].

Kaavaan sijoitetaan kappaleessa 3.1.1 laskettu puomin massasta aiheutuva momentti sekä kappaleessa 3.1.2 laskettu kierroslukema 3 RPM.

$$P = 3 * \frac{33 Nm}{9550} = 0,01037 kW \approx 10 W$$

Tähän tulee kuitenkin huomioida moottorin hyötysuhde sekä muut tehoa sekä hyötysuhdetta laskevat muuttujat.

3.1.3 Välitys

Kuitenkin kappaleessa 3.1.2 lasketulla kierroslukemilla toimivia moottoreita ei käytännössä juurikaan ole saatavilla, joten valitaan isommalla kierroslukemalla oleva moottori. Isommalla kierroslukemalla oleva moottori tarvitsee kuitenkin välityksen, jotta puomille saadaan haluttu avautumisnopeus. Välityksen avulla kierrosnopeutta voidaan laskea, sekä moottorista saatu vääntömomentti voidaan moninkertaistaa. Vääntömomentti kasvaa samassa suhteessa, kuin mitä kierrosnopeutta lasketaan. [12, s. 249–251.]

Esimerkiksi valitaan moottori, joka on ominaisuuksiltaan seuraavanlainen:

Taulukko 6. [11, s. 812]

Tyyppi	ABB 71 A
Teho	0,18 kW
Nopeus	880 RPM
Nimellismomentti	1,95 Nm

Jotta taulukon 6 mukainen moottori saadaan pyörimään 3 RPM nopeudella, tarvitaan vaihteisto $880 \text{ RPM} / 3 \text{ RPM} = 293,33$ välityssuhteella.

Tällöin sähkömoottorista saadaan välityssuhdeluvun mukainen momentin korotus, kierrosnopeuden tippuessa saman suhdeluvun mukaisesti. Näin ollen moottorin vääntömomentiksi saadaan $293,33 * 1,95 \text{ Nm} = 572 \text{ Nm}$.

Vaihteistoa valitessa tulee kuitenkin huomioida, että kyseinen vaihteisto soveltuu halutulle välityssuhteelle sekä momenttialueelle.

4 Kauko-ohjaus

Ohjaukseen huomioidaan mahdolliset kauko-ohjausvaihtoehdot. Ohjauksen kannalta tämä tarkoittaa, että puomia voidaan ohjata langattomasti ilman fyysisen kontaktin luomista puomin ohjauslaitteisiin. Kauko-ohjausta ei kuitenkaan suunnitella päätoimiseksi ohjausmetodiksi, koska se suunnitellaan toimimaan antureihin perustuvan ohjauksen rinnalla.

4.1 GSM-moduuli

Yksi vaihtoehdoista ohjaukseen on GSM-moduuli. GSM-moduuli vastaa perustoiminnoiltaan lähestulkoon matkapuhelinta. GSM-moduuli tarvitsee toimiakseen SIM-kortin, jotta moduuli pysty kytkeytymään matkapuhelinverkkoon. Moduulin ominaisuuksien mukaan ohjausta voidaan ohjata joko soittamalla tai lähettämällä tekstiviesti, jolloin moduuli antaa ulostulon ohjausjärjestelmälle. [13.]

Moduulien ohjaukseen voidaan käyttää GSM-terminaalia, johon voidaan ohjelmoida esimerkiksi puhelinnumeroihin perustuvat käyttöoikeudet, jolloin voidaan rajata käyttöoikeus vain halutulle ryhmälle. [13.]

GSM-ohjaus on yksi vakavasti harkittavista vaihtoehdoista puomin ohjausta varten. Nykyisin katvealueet ovat kuitenkin melko harvinaisia, ja käytännössä GSM-ohjauksella puomia voidaan ohjata mistä tahansa.

4.2 Kaukosäätimet

Kaukosäädin on hyvä tapa ohjauksen toteuttamiseen, mutta kauko-ohjauksessa tulee huomioida kaukosäätimen toimintasäde sekä toimintavarmuus. Yleisesti kaukosäätimet toimivat joko infrapunasäteilyllä tai radioaalloilla. Infrapunasäteilyllä toimivat kaukosäätimet vaativat tarkan suuntauksen vastaanottimeen, kun taas radioaalloilla toimivat kaukosäätimet ovat yleensä ympärisäteileviä.

Radioaallot myös heijastuvat eri pinnoista, jolloin antennin suuntaaminen ei ole pakollista. Suuntausta voidaan kuitenkin käyttää pitempiä lähetysetäisyyksiä haluttaessa. [14, s. 191–196.]

Koska radiotaajuuksien aallonpituus on huomattavasti pitempi sekä taajuus huomattavasti pienempi, radioaallot eivät ole yhtä alttiita häiriöille sekä esteille kuten infrapunasäteily. [14, s. 9–32.]

Koska puomi suunnitellaan käyttötarkoituksensa vuoksi ulkotiloihin, valitaan radiotaajuuksilla toimiva kauko-ohjaus sen käyttövarmuuden vuoksi. Kuitenkin radiotaajuuksien kautta tapahtuvaa ohjausta toteutettaessa tulee huomioida maakohtaiset säännökset siviilikäyttöön vapaista taajuusalueista [14, s. 13]. Useimmiten kuitenkin kaupallisissa ohjausjärjestelmissä tämä on huomioitu jo valmiiksi.

5 Ohjauksessa käytettävät komponentit

5.1 Erilaiset anturityypit

5.1.1 Induktioanturi

Induktiivista kytkintä käytetään pääsääntöisesti metallisten osien tunnistamiseen, koska metallit tyypillisesti johtavat hyvin sähköä. Induktiokytkin voi kuitenkin tunnistaa myös muitakin materiaaleja, jotka johtavat hyvin sähköä. Induktiivinen kytkin sisältää oskillaattoriipiirin, jonka kela muodostaa anturin tuntopinnan. Kun kelan käämiin syötetään vaihtojännitettä, kelan keskiosan läpi syntyy

magneettikenttä. Tuotaessa sähköä johtava materiaali magneettikentän alueelle, magneettikenttään aiheutuvat pyörteet aiheuttavat kuormituksen oskillaattoriin, jolloin oskillaattorin värähtely vaimenee. Tällöin kytkimen lähtöpiiri antaa ulostulon, jota voidaan käyttää anturitiedon saamiseksi, jos anturin toiminta-alueella on metallisia materiaaleja. [15, s. 6.]

Induktioanturia voidaan käyttää tässä tapauksessa lähestyvien ajoneuvojen tunnistamiseen. Kuitenkin ongelmaksi muodostuu kyseisen anturityypin lyhyt toimintasäde. Tällöin anturi soveltuu paremmin esimerkiksi puomiin kiinnitettynä tunnistamaan onko puomin alla metallisia esteitä, kuin esimerkiksi lähestyvän ajoneuvon tunnistamiseen puomin avaamistarkoituksessa.

5.1.2 Rajakytkimet

Mekaaniset rajakytkimet toimivat yleensä ulkoisesta tekijästä aiheutuvan liikkeen vaikutuksesta sulkeutuvalla kytkimellä, jolloin virtapiiri rajakytkimen tyypistä riippuen sulkeutuu tai katkeaa. Tällöin saadaan tieto, milloin rajakytkimen toimintaehto on toteutunut. [15, s. 5.]

5.1.3 Turvareuna

Turvareunoja käytetään yleensä turvalaitteena kaikenlaisissa sovelluksissa, missä voi olla puristumisen tai väliin jäämisen riski, esimerkkinä mainittakoon erilaiset ovet tai portit.

Pääpiirteittäin turvareunat jakautuvat toimintatapojensa perusteella sähköisiä tunnistimia käyttäviin turvareunoihin, paineimpulssiin perustuvaa tunnistusta käyttäviin turvareunoihin tai valokuitutunnistimilla varustettuihin turvareunoihin. [16.]

Sähköisien tunnistimien toiminta perustuu elementtien välissä olevaan ilmara-
koon, jota normaalisti ylläpidetään esimerkiksi jousilla, eristetyynyillä tai kim-

moisalla vaahdolla. Kun turvareuna osuu esteeseen, ilmaväli painuu kasaan ja kytkentäelementit osuvat toisiinsa. Tällöin virtapiirin sulkeutuessa saadaan ulos tieto, että turvareuna on osunut esteeseen. [16.]

Paineimpulssiin perustuvassa turvareunassa turvareunan osuminen esteeseen aiheuttaa profiilin sisällä paineen nousua, joka ohjataan letkua pitkin painekyttimeen. Paineekytimestä saadaan tällöin ohjaukselle tieto turvareunan osuneen johonkin. Tämä tunnistustapa kuitenkin vaatii käytännössä jatkuvasti ylläpidettävän ilmanpaineen. [16.]

Valokuitutunnistimen toiminta perustuu turvareunan läpi kulkevaan valokuituun. Turvareunan osuessa johonkin valokuidun läpi etenevän valon määrä vähenee, josta voidaan tulkita ohjaukselle tieto turvareunan osuneen esteeseen. [16.]

Tiepuomikäyttöön turvareuna soveltuu erinomaisesti. Puomin alarajaan kiinnitettynä turvareunalla saadaan tieto alla olevista esteistä, myös silloin jos este ei laukaise esimerkiksi metalliin reagoivia induktioantureita tai tiettyihin pisteisiin määritellyjä mekaanisia rajakytkimiä. Turvareunan valinnassa tulee kuitenkin huomioida turvareunan kokoonpuristuvan osuuden koko ja puomin nopeus, koska puomin pysäytyksessä tulee kuitenkin käytännössä olemaan jonkinlainen viive.

5.1.4 Valoverho

Valoverhojen toiminta perustuu kaksiosaisesta rakenteesta, joiden välille luodaan infrapunaverkko. Jonkin häiriön, esimerkiksi ihmisen, ajoneuvon, roskan, tai vaikkapa tuotantolinjalla tuotteen kulkiessa infrapunaverkon läpi infrapunaverkko hajoaa, ja saadaan luotettavasti tieto jota voidaan soveltaa eri käyttötarkoituksiin. Yleisenä esimerkkinä mainittakoon esimerkiksi metallialan työkeskukset, joiden ulkoreunoilla käytetään valoverhoja. Ihmisen kulkiessa valoverhon läpi, työkeskus pysähtyy tarkoituksena estää mahdolliset tapaturmat tai muut liikkuviin osiin takertumiset. [17; 18, s. 151–152.]

Valoverho soveltuisi kyseiseen tapaukseen käyttötarkoitukseltaan loistavasti, mutta valoverhot eivät sovellu hyvin ulkotiloihin, eivätkä varsinkaan kylmiin olo-

suhteisiin. Ulkotiloihin suunniteltuihin valoverhoihin on pyritty saamaan käyttövarmuutta toteuttamalla valoverho useammalla lähetin ja vastaanotin -parilla, jolloin laite antaa ulostulon pelkästään vain jos kaikki infrapunaverkot ovat hajonneet. Tällöin pystytään estämään turhat hälytykset esimerkiksi roskien kulkeutuessa valoverhon läpi. Valoverhoihin on myös saatavilla lämmitys kylmiä tiloja varten, mutta toistaiseksi laitteet eivät ole suunniteltu toimimaan korkeissa pakkasissa. [19]

5.2 RFID-tunnistus

RFID lyhennelmä tulee nimestä Radio Frequency Identification, suomeksi tunnettu nimellä radiotaajuuksinen etätunnistus, tai myös nimellä saattomuisti. Tekniikka perustuu etätunnistukseen radioaalloilla. RFID-järjestelmän toiminta perustuu kolmeen eri osuuteen, tagiin, lukijaan, sekä antennista molemmissa edellä mainituista. [20.]

Lukijasta tulevat radioaallot indusoivat tagiin pienen sähkövirran, jonka avulla tunnistete pystyy lähettämään sisältämänsä tiedon. Usein tagi ei sisällä suurta tietomäärää, pääsääntöisesti muutamia bittejä. [20.]

RFID-tunnisteita on olemassa kahta erilaista tyyppiä, aktiivisia sekä passiivisia. Aktiivinen RFID-tunniste sisältää oman virtalähteen, joten se ei ole riippuvainen radiotaajuuksista indusoituvasta virrasta. Oman virtalähteen ansiosta laitteen kantavuus on parempi, sekä muistikapasiteetti voi olla suurempi kuin passiivisilla tunnisteteilla. Tarvittaessa aktiivinen RFID-tunniste voi myös tallentaa vastaanotettua tietoa. Aktiivisilla tunnisteteilla lukuetaisyydet voivat vaihdella muutamista metreistä kymmeneen metreiin. [20.]

Passiivitunnisteteella ei ole omaa virtalähdettä, joten passiivitunniste on täysin riippuvainen radiotaajuuksista indusoituvasta virrasta. Kuitenkin passiivitunniste on yksinkertaisin ja edullisin malli. [20.]

RFID-tunnistusta voidaan hyvin soveltaa puomin ohjaukseen. Tunnisteteen tyyppistä ja ominaisuuksista riippuen esimerkiksi auton puskuriin kiinnitettynä tai kojelaudalla pidetty tunnistete voisi aukaista puomin. Tätä voitaisiin hyvin soveltaa

päivittäiseen läpikulkuun, ilman erillistä työtä avauksen käynnistämiseksi. Myös huomion arvoinen seikka on mahdollisuus käyttää ajoneuvoa aktiivisen RFID-tunnisteen virtalähteenä, jolloin saadaan parempi toiminta-alue puomin aukaisua varten.

6 Ohjauksen automatisointi

Ohjelman toteutukseen tulee huomioida erilaisten direktiivien ja standardien mukaiset turvallisuusvaatimukset. Vaikka tiepuomi suunnitellaan itsenäiseksi kokonaisuudeksi, Siirilän mukaan ”Ovet ja portit ovat aina osa jotain rakennusta tai muuta rakennelmaa”. [18, s. 373.] Tästä johtuen niitä koskee konedirektiivin lisäksi myös rakennustuotedirektiivi.

Kuitenkin alla olevassa kuviossa 7 mainitut standardit, joita sovelletaan erilaisien ovien ja porttien suunnitteluun rakennusdirektiivin mukaisesti, eivät kuulu tähän opinnäytetyöhön. Kyseisissä standardeissa soveltamisalojen rajauksissa määritellään, että kyseiset standardit eivät koske vain ajoneuvokäyttöön tarkoitettuja puomeja.

SFS-EN 12453	Teollisuus-, liike- ja toimistorakennusten sekä autotallin ovet ja portit. Konekäyttöisten ovien käyttöturvallisuus. Vaatimukset.
SFS-EN 12604	Teollisuus-, liike- ja toimistorakennusten sekä autotallin ovet ja portit. Mekaaniset ominaisuudet. Vaatimukset.
SFS-EN 12978 + A1	Industrial, commercial and garage doors and gates. Safety devices for power operated doors and gates. Requirements and methods.

Kuvio 7. Eri standardit

Kuitenkin kyseisistä standardeista sovelletaan suosituksia ja ohjeita logiikkaohjelman suunnitteluun. Esimerkiksi standardissa SFS-EN 12453 esitetään seuraavanlainen vaatimus: ”Turvalaitteen synnyttämän pysäytyskäskyn on säilyttävä niin kauan, kun turvalaite on vaikutettuna tai kunnes liikesuunnan vastakkaiseksi muuttava ohjauuskäsky syntyy.” [18, s. 382.]

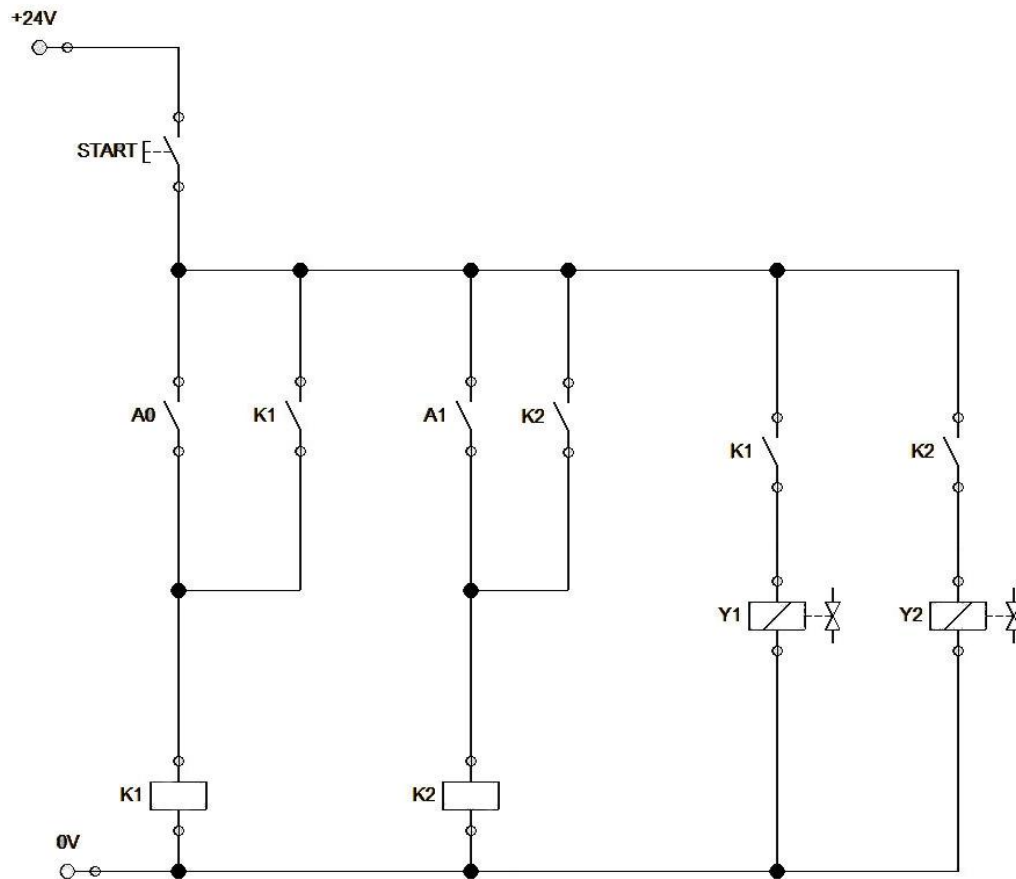
Ohjelman suunnittelussa huomioidaan myös TUKES:in ohjeen mukaisesti, että oven on käynnistytävä avautumissuuntaan viimeistään 3 sekunnin kuluttua siitä, kun turvalaite on aktivoitunut. [18, s. 382.]

Konedirektiivi käsittelee tärkeimpänä osana liikkuvista koneista tai laitteista aiheutuvia erilaisia vaara- ja haittilanteita, joissa henkilövahinkojen riski on mahdollista. Konedirektiivissä määritellään myös portteihin sovellettavat turvallisuusmääräykset.

6.1 Releohjaus ja ohjelmoitava logiikka

Ohjaus voidaan toteuttaa ohjelmoitavalla logiikalla tai rele-ohjauksella. Ohjelmoitavaa logiikkaa nimitetään myös PLC:ksi. Lyhennelmä tulee englanninkielisestä nimityksestä Programmable Logic Controller.

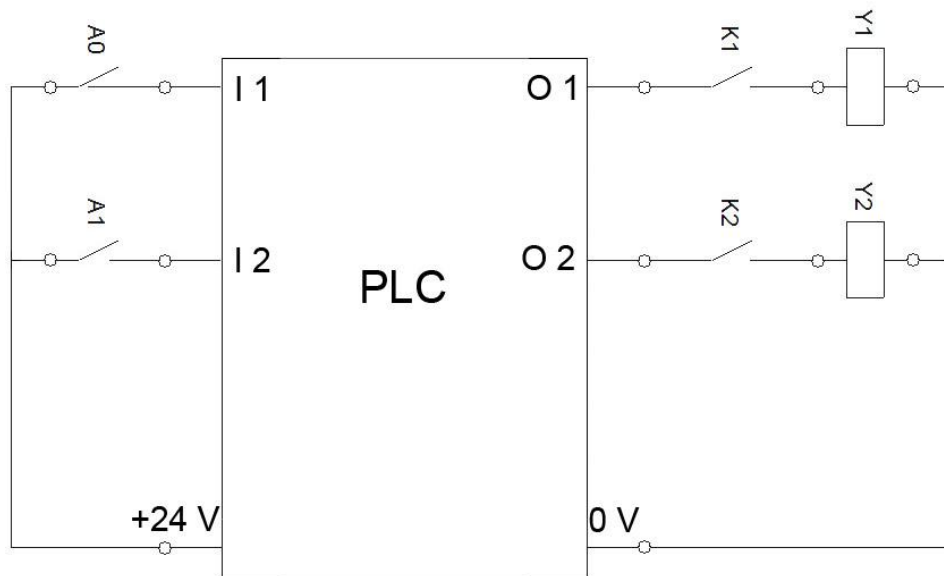
Rele on sähkömekaaninen kytkin, jonka perustoiminto on joko sulkeutua tai avautua, riippuen reletyypistä ja ohjaustavasta. Vaikka yksittäinen rele on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen, releohjaus on kokonaisuutena huomattavasti monimutkaisempi kuin logiikkaohjaus, koska jokaiselle toiminnolle on erikseen määriteltävä oma rele. Tästä syystä releohjaukseen verrattuna logiikkaohjaus on myös paljon tilatehokkaampi vaihtoehto, sekä vaatii toimiakseen vähemmän johdotuksia ja kytkentöjä. [21.]



Kuva 8. Esimerkki releohjauksesta

Kuvassa 8 on esimerkki yksinkertaisesta releohjauksesta, jota voidaan soveltaa esimerkiksi tiepuomin ohjaukseen. Käyttäen kuvaa 8 esimerkkinä, releet toimivat jonkun anturin tai moduulin antaessa niille tuloa. Tällöin rele toimintatavastaan riippuen joko katkaisee tai sulkee piirin, jolloin voidaan hallita ohjausjännitteen kulkua.

Esimerkkinä kuvassa 8, Start-kytkintä painettaessa, riippuen puomin asennosta, joko A0 tai A1 rajakytkin on päällä, jolloin jompikumpi osa piiristä sulkeutuu. Tällöin rele ohjaa kytkimen K1 tai K2 kiinni, jolloin aiheutuu pitopiiri, jolloin ohjaus ei ole enää riippuvainen anturitulosta. Näin moottoreiden ohjauskeloihin, Y1 tai Y2, vaikutetaan niin kauan kunnes puomi on ajettu seuraavalle rajakytkimelle.



Kuva 9. Esimerkki PLC:n kytkentämallista [21 soveltaen]

Kuvassa 9 esitellään vastaavan tiepuomijärjestelmän kytkentämalli ohjelmoitavalla logiikalla. Anturit ja ohjausmoduulit kytketään PLC:n input-moduuliin, sekä moottoriin ohjaukset output-moduuliin. Logiikkaohjelmassa määritellään mihin osoitteeseen komponentit ovat kytketty. Osoitteella tarkoitetaan fyysisen liitännän numerointia. Tällä tavoin eri komponentteja ei tarvitse kytkeä keskenään, koska ohjelmoitava logiikka ohjelmansa mukaisesti kuuntelee sisääntuloja, joiden mukaan hallitaan ulostuloja.

Hinnaltaan pienet toteutukset ovat pääsääntöisesti releillä toteutettuina halvempia, mutta isommissa kokonaisuuksissa PLC voi tulla huomattavasti halvemmaksi. [21.]

Ohjelmoitavan logiikan etuna on mahdollisuus muutoksien toteuttaminen tiepuomin toimintatapaan helposti. Jos halutaan muuttaa ohjauksen toimintatapa, riittää ohjelman muokkaus ja ohjelman uudelleen lataaminen logiikkayksikön muistiin. Releohjauksessa joudutaan tekemään käytännössä aina fyysisiä muutoksia, että ohjaus saadaan muutettua halutulla tapaa. Tästä syystä ohjauksen muunneltavuus ja joustavuus on huono. Logiikkaohjelmoinnin negatiivisena puolena voidaan mainita kuitenkin erilaisten ohjelmien ja sovelluksien tarve sekä ohjelmointitaidon välttämättömyys. [21.]

Vianmäärittelyssä PLC tulee myös huomattavissa määrin helpommaksi kuin rele-ohjaus. PLC:stä voidaan ohjelmallisesti seurata, mikä ohjelman osa ei toteudu, jonka avulla voidaan suoraan päätellä missä vika on. Jos logiikkaohjelmassa on virhe, virhe voidaan korjata ohjelmamuutoksella ja uudelleen lataamalla ohjelma logiikkayksikköön. [21.]

Ohjelmoitavien logiikoiden edut ilmenevät parhaiten monimutkaisissa kokonaisuuksissa. Yhdellä logiikalla voidaan ohjata järjestelmää, jonka toteutus releillä vaatisi huomattavasti suuremman määrän komponentteja. [21.]

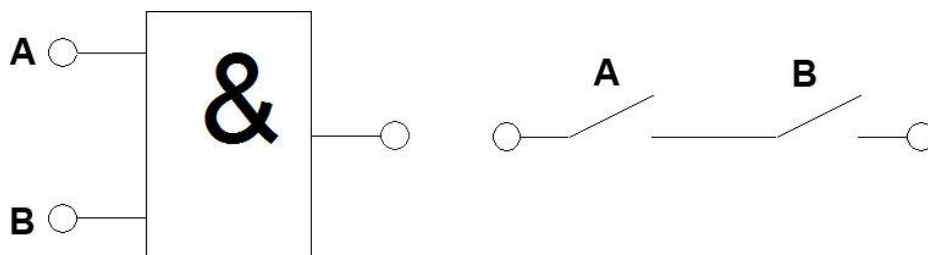
Ohjaustavaksi valitaan ohjelmoitava logiikka sen paremman joustavuuden vuoksi. Tällä tavoin järjestelmään jää varaa muokkauksille ja laajentamiselle.

6.2 Ohjelman toteutus

Ohjelmoitavan logiikan toiminta perustuu sisääntuloihin sekä ulostuloihin, hyvin yleisesti käytetään myös englanninkielisiä nimityksiä input ja output. Input tarkoittaa PLC:lle tulevaa tietoa ja output PLC:ltä lähtevää tietoa.

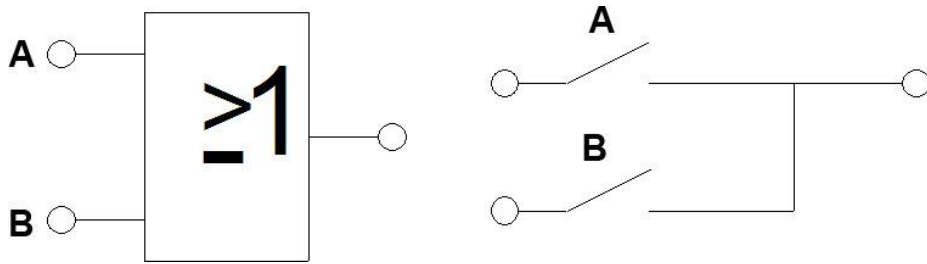
Käytännössä tämä tarkoittaa, että PLC:llä esimerkiksi tässä tapauksessa seurataan antureiden ja ohjausmoduuleiden tuloja, eli kyseisistä sovelluksista tulee logiikalle sisääntulo. Kun taas PLC:llä halutaan ohjata sähkömoottoria, PLC antaa ohjaussignaalin eli ulostulon.

Ohjelmoitavan logiikan ohjelmassa määritellään ehdot, missä tilanteissa annetaan haluttuja ulostuloja. Käytännössä askelohjauksen perusidea perustuu binäärilogiikkaan, että eri symbolien arvot ovat 0 eli pois päältä, tai 1 eli päällä. Näiden arvojen mukaan ohjataan eri apumuisteja ja lähtöohjauksia. Logiikkaohjelmointi toteutetaan useimmiten relekytkentää vastaavalla askelohjelmoinnilla.



Kuva 10. AND kytkentä logiikka- ja kosketinkaaviona

Binäärilogiikassa AND-ehdossa tulee kaikkien tulojen olla päällä, jotta ulostuloksi saadaan 1. Yhdenkin sisääntulon ollessa pois päältä, eli 0, ulostuloksi saadaan myös 0. Vastaava kytkentä voidaan kuvan 10 mukaisesti toteuttaa releillä tai logiikkaohjelmoinnissa sarjaankytkentänä, jolloin relekytkennässä vaaditaan molempien kytkimien sulkeutuminen, jotta ohjausjännite voidaan ohjata piirin läpi. Logiikkaohjelmoinnissa taas kyseisen rivin toteutumiseen vaadittavat ehdot eivät toteudu, jos molemmat tulot eivät ole yhtä aikaa päällä.



Kuva 11. OR kytkentä logiikka- ja kosketinkaaviona

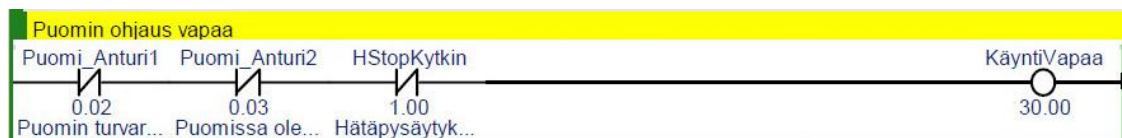
Toinen perusosa on OR-ehto, jolloin tulot voidaan kytkeä kuvan 11 mukaisesti rinnakkain, jolloin kumman tahansa tulon päällä olo riittää, jotta ulostuloksi saadaan 1. AND ehdon tavoin OR-ehto sovelletaan samalla tavalla myös relekytkennässä sekä logiikkaohjelmoinnissa.

Ohjelman toteutuksessa kyseisiä ehtoja sovelletaan sekä sarjaan- että rinnankytkentänä. Näin voidaan määritellä eri tilanteisiin sopivat ohjausehdot.

6.3 Ohjelman esittely

Ohjelma toteutetaan Omronin CX-Programmer -ohjelmalla. Ohjelma on jaettu kahteen eri osioon, toimintaehtoihin sekä lähtöohjauksiin. Toimintaehdoissa tarkkaillaan logiikalle tulevia sisääntuloja, joiden mukaan annetaan lähtöohjauksille tieto, onko puomin ohjaaminen sallittua. Ohjelman esittelyssä yksi kuva vastaa yhtä riviä ohjelmassa.

Toimintaehdot



Kuva 12. Toimintaehdot; Rivi 0

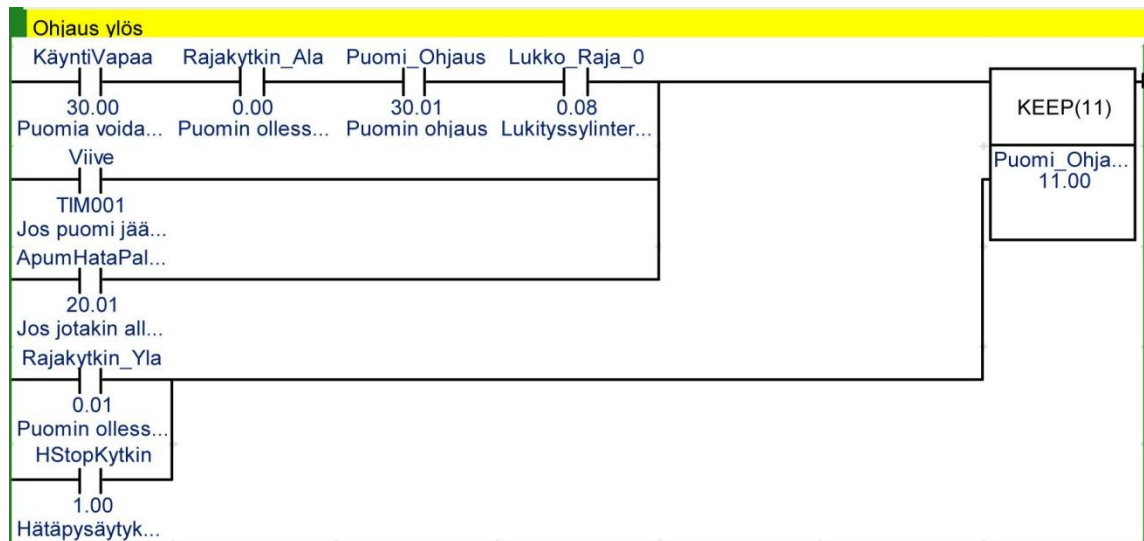
Kuvan 12 rivissä 0 tarkistetaan symbolien negaatioiden avulla, etteivät puomissa olevat turva-anturit rekisteröi mitään esteitä puomin alla, eikä hätäpysäytys saa olla päällä. Negaatiolla tarkoitetaan symbolin käänteisarvoa. Jos joku antureista on rekisteröinyt esteen tai hätäpysäytys on päällä, negaation avulla kyseisen symbolin arvo käännetään ykkösestä nollaksi. Tällöin kyseinen rivi ei voi toteutua. Näiden ehtojen täytyessä saadaan ohjausehtona toimivan apumuistin arvoksi 1, jota käytetään myöhemmissä osissa ohjelmaa.



Kuva 13. Toimintaehdot; Rivi 1

Kuvan 13 rivissä 1 tarkkaillaan logiikalle tulevia ohjauksia. Puomin ohjausta ohjaava apumuisti saa arvon 1 kun ohjaukseen tarkoitetut anturit tai ohjausmoduulit antavat sisääntulon.

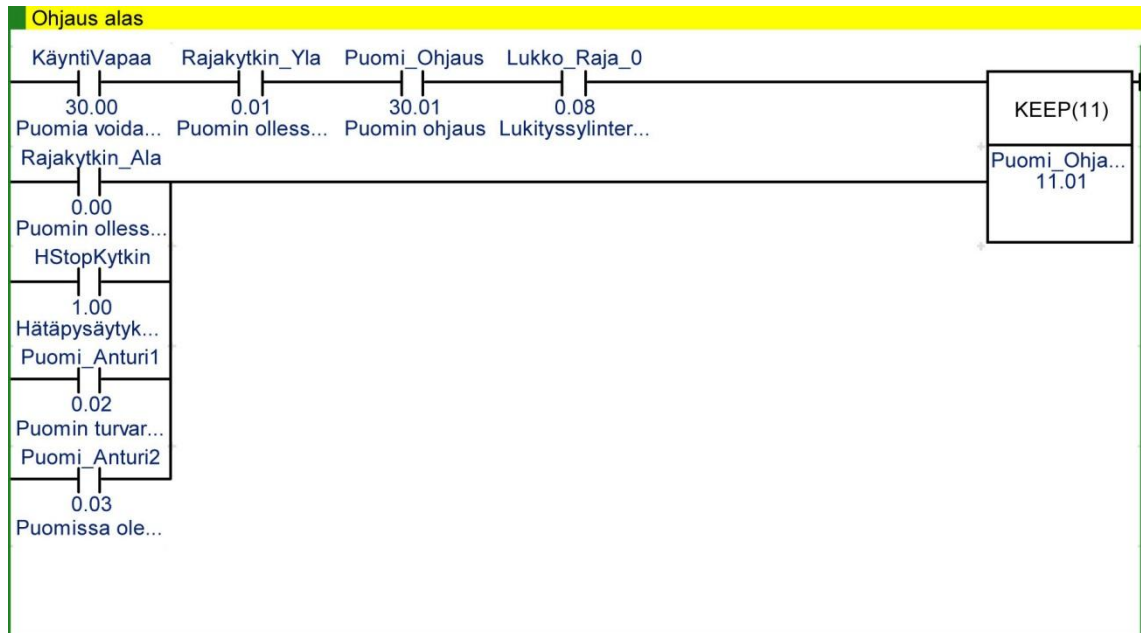
Lähtöohjaukset



Kuva 14. Lähtöohjaukset; Rivi 0

Kuvan 14 rivissä 0 käsitellään puomin ohjausta ylös, joka voi toteutua kolmessa eri tapauksessa. Ensimmäisessä tapauksessa tarkastetaan kuvan 12 mukaisesti, ettei puomin ohjaukselle ole esteitä, puomi on ala-asennossa, puomille annetaan kuvan 13 mukaisesti ohjaussignaali, sekä puomin lukkosylinterin tulee olla auki. Kahtena muuna vaihtoehtona ovat TIMER001 sekä hätäpalautusta koskeva apumuisti, jotka käsitellään myöhemmin.

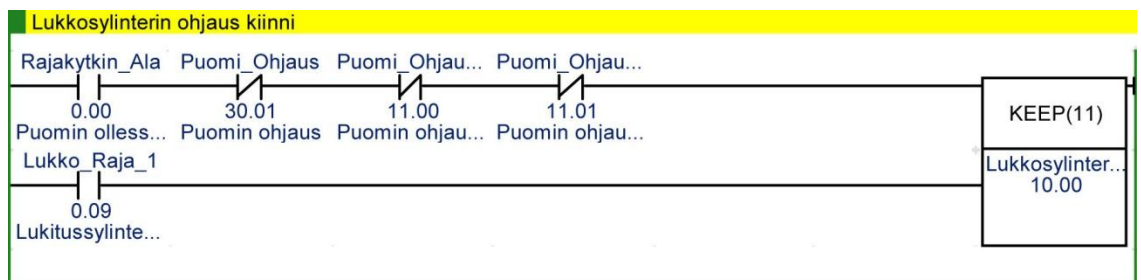
Ohjaus toimii KEEP-toiminnolla, joka pitää ohjausta niin kauan päällä, kunnes se erikseen nollataan. Tässä tapauksessa ohjaus nollataan, kun puomi on saapunut yläasentoon ja rajakytkin antaa tästä tiedon, tai hätäpysäytys on kytketty päälle.



Kuva 15. Lähtöohjaukset; Rivi 1

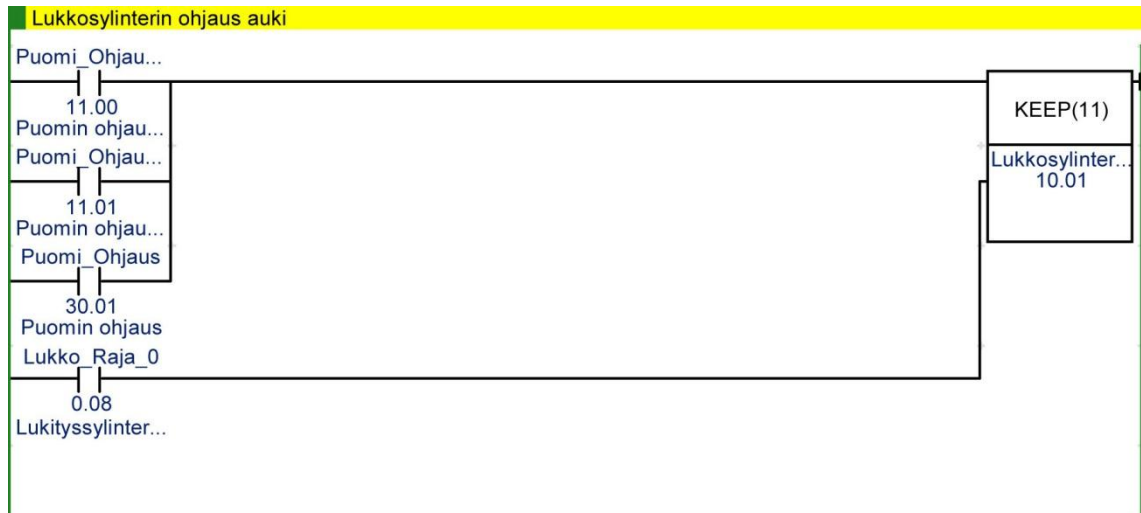
Kuvan 15 rivissä 1 hallitaan puomin ohjausta alas. Ohjaus voi toteutua kun puomin ohjaukselle ei kuvan 12 mukaisesti ole esteitä, puomi on yläasennossaan, puomin ohjaus on kuvan 13 mukaisesti päällä sekä lukitussylinterin tulee olla auki.

Ohjaus toimii myös KEEP-toiminnolla. Ohjaus nollataan puomin saapuessa alasentoonsa, hätäpysäytyksen aktivoituessa tai puomissa olevien antureiden rekisteröidessä esteitä, jolloin turvallisuussyistä ohjaus lopetetaan.



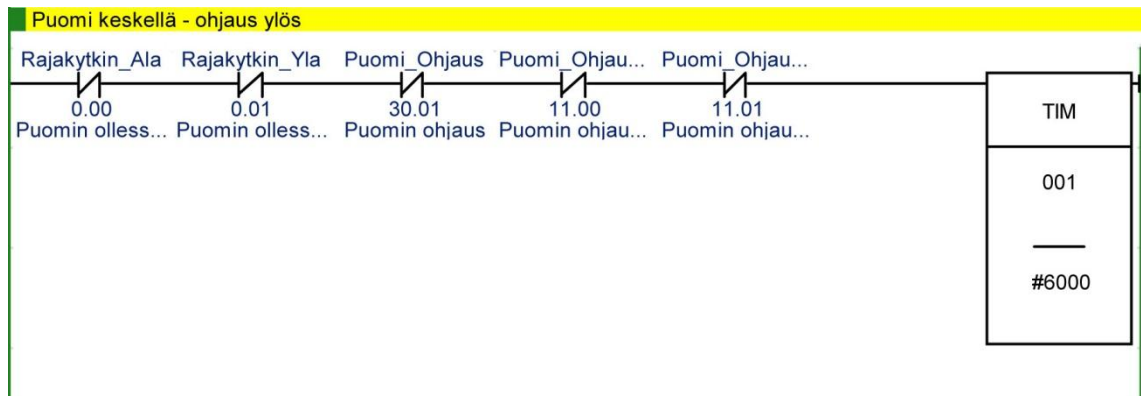
Kuva 16. Lähtöohjaukset; Rivi 2

Kuvan 16 rivissä 2 puomin ollessa alhaalla tarkistetaan, ettei mitään ohjauksia ole päällä. Tällöin puomin lukituksena toimiva sylinteri ohjataan KEEP toiminnolla ulkoasentoonsa. KEEP pitää lukkosylinterin ohjausta niin kauan päällä, kunnes lukkosylinteri on ajettu ulkoasentoonsa, ja rajakytkimen saatua arvon 1 ohjaus nollataan.



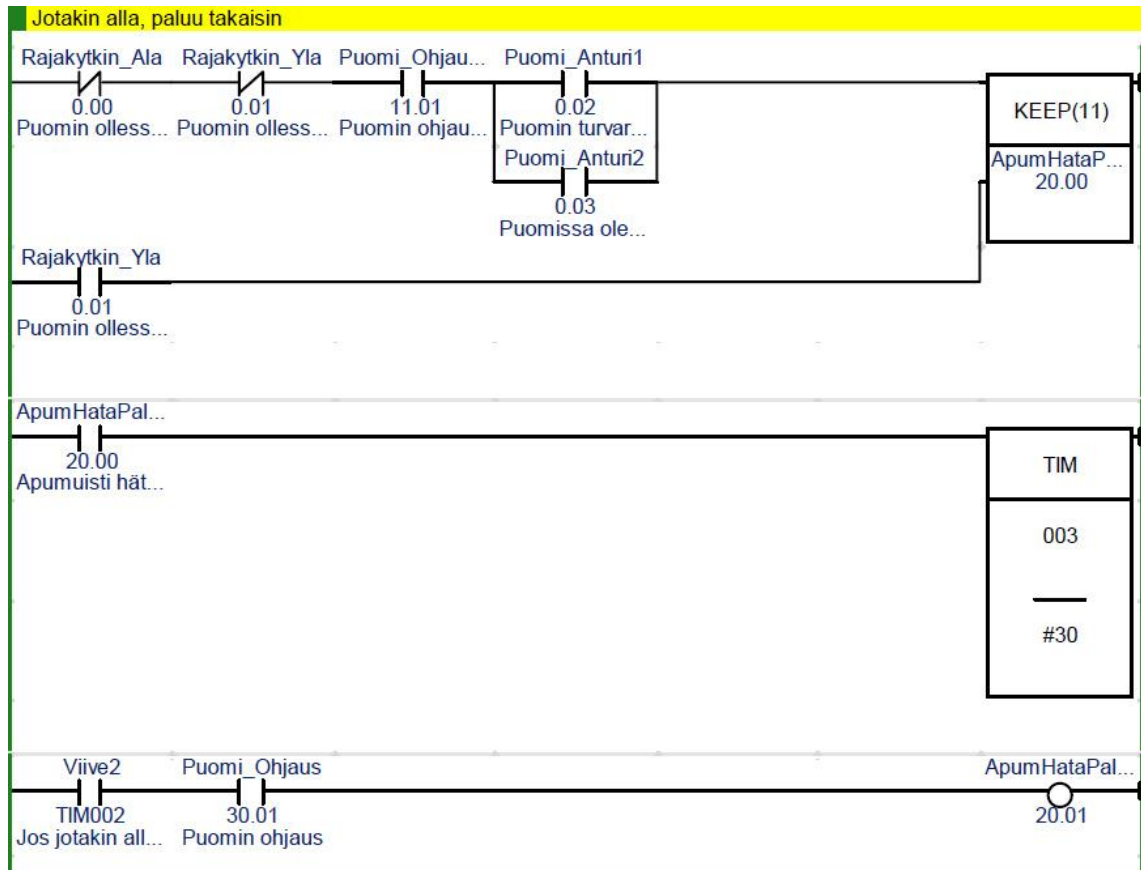
Kuva 17. Lähtöohjaukset; Rivi 3

Kuvan 17 rivissä 3 tarkkaillaan, onko mikään puomin ohjaus päällä. Jos ohjauksia on päällä, lukkosylinterin lähtöohjausta pidetään KEEP-toiminnolla päällä niin pitkään, kunnes lukkosylinterin rajakytkimeltä saadaan tieto, että lukkosylinteri on ajettu sisäasentoon. Tällöin rajakytkimeltä tuleva arvo nolaa ohjauksen.



Kuva 18. Lähtöohjaukset; Rivi 4

Jos puomi pysähtyy esimerkiksi sähkökatkoksen takia keskelle ajoliikettä, voidaan kuvan 18 rivillä 4 tehdä varmistus, että puomi palaa yläasentoonsa. Rivissä tarkistetaan, että puomi ei ole kummassakaan ääriasennossa, eikä mikään ohjaus ole päällä. Tällöin TIMER kytkeytyy päälle, johon on määritely minuutin viive. Jos puomi ei ole minuutin kuluessa palautettu kumpaankaan ääriasentoon, TIMER:in ajettua loppuun sen arvo muuttuu nolasta ykköseksi. Tällöin kuvassa 14 näkyvä TIMER001 muuttuu arvoon 1, jolloin yksi ehdoista puomin ylösajamiseen toteutuu.



Kuva 19. Lähtöohjaukset; Rivit 5–7

Kuvan 19 mukaisissa riveissä tarkkaillaan, ettei puomia alas ajettaessa ole mitään esteitä. Jos anturit rekisteröivät esteitä kesken ajon, puomi ajetaan takaisin yläasentoonsa.

Ensimmäisellä rivillä tarkkaillaan, että puomi ei ole kummassakaan päädyssä ja puomin ohjauksen tulee olla päällä. Näin voidaan varmistua, ettei ylösajo tapahdu vahingossa esimerkiksi puomin ala-asennossa. Näiden ehtojen täyttyessä sekä puomin antureiden antaessa tiedon alla olevasta esteestä, KEEP pitää hätäpalautuksen apumuistia päällä niin kauan, kunnes puomi on yläasennossaan.

Kyseinen apumuisti käynnistää TIMER:in, jonka viiveenä on kolme sekuntia. Kyseinen viive on valittu TUKES:in ohjeen mukaisesti. Viiveen jälkeen, jos puomin ohjaus on vielä päällä, kuvassa 14 näkyvä hätäpalautuksen apumuisti saa arvon 1, jolloin yksi ehto puomin ylös ajamista määräävistä apumuisteista toteutuu.



Kuva 20. Lähtöohjaukset; Rivi 8

Kuvassa 20 näkyvässä rivissä 8 ohjataan puomin rakenteisiin kiinnitettyjä varoitusvaloja. Minkä tahansa puomin ohjauksen ollessa päällä, varoitusvalot ovat toiminnassa. Vaikka merkkivalot eivät ole pakolliset, ne ovat kuitenkin edullinen ja yksinkertainen lisäys käyttöturvallisuuteen.

7 Muuta huomioitavaa

7.1 IP-luokitus

Ohjausmekanismin kotelointiin huomioidaan Euroopassa käytetty IP-luokitusjärjestelmä. Luokitus määrittelee laitteen suojuuksista ulkoisia uhkia vastaan. Standardi SFS-EN 60529 + A1 sisältää IP-luokituksen määrittelyyn. [22, s. 52–58.]

IP-koodi koostuu kirjaimista IP (Internal Protection), 2 tunnusnumerosta ja 2 vapaaehtoisesta lisäkirjaimesta. Kotelointiluokitus ei ota kantaa kotelon kestävyteen fyysisen kuormituksen alla. Ensimmäinen numero määrittelee suojuksen vieraita esineitä ja pölyä vastaan, ja toinen numero määrittelee suojuksesta vettä ja kosteutta vastaan. [23.]

0	Ei suojausta
1	Suojaus suuria kappaleita vastaan, halkaisija 50 mm tai enemmän.
2	Suojaus keskikokoisia kappaleita vastaan, halkaisija yli 12,5 mm.
3	Suojaus pieniä kappaleita vastaan, halkaisija yli 2,5 mm.
4	Suojaus erittäin pieniä kappaleita vastaan, halkaisija yli 1 mm.
5	Suojattu pölyltä. Ei edellytä täydellistä tiiveyttä, mutta haitallisia pölykertymiä ei saa syntyä.
6	Täydellinen pölysuojaus. Pölytiivis.

Kuvio 8. Pölysuojauksen luokituksen määritelmät [23 soveltaen]

0	Ei suojausta vettä vastaan.
1	Suojaus suoraan ylhäältä tulevaa vettä vastaan.
2	Suojaus ylhäältä +/-15 astetta tulevaa vettä vastaan.
3	Suojaus ylhäältä +/-60 astetta tulevaa vettä vastaan.
4	Suojaus vesiroiskeita vastaan.
5	Kestää vesiruiskun joka suunnasta.
6	Kestää suurella paineella tulevan ruiskun.
7	Kestää hetkellisen upotuksen veteen.
8	Kestää pysyvän upotuksen.

Kuvio 9. Kosteus- ja vesisuojausten luokituksen määritelmät [23 soveltaen]

Sähkökomponenttien IP-luokitusvaatimukset on määritelty sähköturvallisuusmääräyksissä käyttöpaikkojen mukaan. Tässä tapauksessa huomioidaan SFS 6000-8-804-standardin mukainen ulkotiloissa käytettävien sähkökomponenttien IP-luokitusvaatimukset.

Taulukko 7. SFS 6000-8-804 mukainen vähimmäisvaatimus ulkoasennukselle [24]

Tila	Kotelointiluokka	Lisätietoja
Ulkotila*	IPX3	Laite, joka on alttiina sateelle, mutta joka on asennettu yli 0,5 m vaakatason tai kaltevan pinnan yläpuolelle
	IPX4	Laite, joka on alttiina sateelle ja on asennettu enintään 0,5 m etäisyydelle vaakatasosta tai kaltevasta pinnasta
	IPX1	Laite, joka on asennettu siten, että se on suojattu sateelta.

*) Vaatimuksissa oletetaan, että vesi voi pudota enintään 60° kulmassa ja ettei putoava vesi roisku 0,5 m korkeammalle.

Taulukosta 7 voidaan todeta, että ilman erillistä suojausta koteloinnin tulee olla joko IPX3- tai IPX4-luokiteltu, määrittämisen erona laitteen asennuskorkeus. Tässä tapauksessa laite asennetaan kuitenkin yli 0,5 m korkeuteen maantasosta, joten päädymme IPX3-luokitukseen.

IPX3 ei ota itsessään kantaa muuhun kuin vesisuojaukseen. Kuviosta 9 voidaan nähdä numeron 4 tarkoittavan, että kotelon tulee olla suojattu vesiroiskeita vastaan.

Tämä on siis standardin mukainen vähimmäisvaatimus koteloinnille. Ottaen huomioon ulkotilojen olosuhteet ja vaihtelevat vuodenaajat, kotelointiin on suositeltavaa ottaa huomioon myös pölysuojaus. Kuviosta 8 nähdään erilaiset pölysuojausvaihtoehdot. Luokitukset 1–4 antavat suojan erikokoisia kappaleita vastaan, mutta vasta numero 5 tarkoittaa pölysuojattua. Koteloinnin suojaukseksi valitaan siis IP54.

7.2 Jarrumekanismin huomiointi rakenteessa

Puomin rakenteesta johtuen lähestulkoon suurin riski puomissa on sähkökatkon aiheuttama puomin äkillinen alastulo. Tämä voidaan estää huomioimalla järjestelmään jarrutusmekanismi. Jarrutusmekanismi voidaan toteuttaa monella eri tapaa, mutta tässä tapauksessa harkitaan valittavaksi moottorityyppiä, johon sisältyy jarrutusmekanismi.

Kartiojarrumoottori on sähkömoottorin ja jarrun yhdistelmä. Moottorina käytetään oikosulkumoottoria, jonka roottori on valmistettu kartiomaiseksi. Roottorin akselilla on myös jousi ja jarru. [25, s. 338.]

Kun staattoriin kytketään jännite, moottorin ilmavälissä on tavallisesti magneettikenttä. Koska ilmaväli on kartiojarrumoottorissa kartiomaisen muotoinen, magneettikentällä on myös aksiaalikomponentti. Moottorin käynnistyessä magneettikenttä siirtää akselia vapauttaen jarrun. Kun jännite katkaistaan, kierrejousi työntää roottoria jarrun suuntaan. Rakennetta pidetään yksinkertaisena ja käytövarmana. [25, s. 338.]

7.3 Liikkeen tasapainotus kaasusylinterillä

Koska puomin rungolle ei ole erillistä tukea, ja puomi on vain kiinnitetty rungostaan kiinni sähkömoottorista tulevalle välitykselle, puomi on altis epätasaiselle liikkeelle, kuin myös resonoinnille ja äkillisistä pysäytyksistä tai liikkeellelähdöistä aiheutuville heilahduksille.

Näitä voidaan kompensoida esimerkiksi huomioimalla rakenteeseen kaasusylinteri. Kaasusylinteri voidaan kiinnittää esimerkiksi puomista runkoon tai kotelointiin. Kaasun oletetaan käyttäytyvän ideaalikaasun tavoin.

Ideaalikaasun yhtälö on $pV = nRT$ [26], jossa:

- p = kaasun paine
- V = kaasun tilavuus
- n = kaasun ainemäärä
- R = yleinen kaasuvakio
- T = lämpötila.

Kaasusylinterin tapauksessa kaasun ainemäärän pysyessä vakiona, kaasun paine kasvaa samassa suhteessa kuin tilavuus pienenee. Koska kaasusylinterien liikenopeus on usein rajattu, ja kaasusylinterin paine kasvaa sylinterin puristuessa sisään, voidaan kaasusylinteriä käyttää liikettä tasoittava elementtinä rakenteessa.

8 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda suunnitelma ohjattavan tiepuomin toteuttamiseksi. Tiepuomille ei aluksi ollut asetettu paljoa vaatimuksia, tärkeimpinä ajoneuvokulun estäminen, sekä soveltuvuus jatkuvaan arkikäyttöön niin, ettei puomin käytöstä aiheudu ylimääräistä vaivaa.

Opinnäytetyötä aloittaessa vaikeinta oli valita lähtökohdat, joiden pohjalta aloittaa tiedon etsintä ja valintojen teko. Vaikka eri aloilta sekä aihepiireistä on laajalti tietoa saatavilla, ongelmaksi muodostui kuitenkin, että tietoa etsiessä tuli käytännössä jo valmiiksi tietää mitä etsii. Suurin osa opinnäytetyön tekoon kuuluneesta ajasta on kulunut tiedon etsimiseen, tulkintaan sekä arviointiin, voidaanko kyseistä tietoa soveltaa tässä opinnäytetyössä.

Opinnäytetyötä aloittaessani itselleni oli kehkeytynyt valmiita ideoita ja ajatuksia, joilla olisin projektin todennäköisesti toteuttanut, jos suunnittelulle ei erikseen olisi varattu aikaa. Opinnäytetyön edetessä osa ideoista jalostui eteenpäin ja osa karsiutui pois. Opinnäytetyön aikana totesin myös henkilökohtaisesti suunnitteluasioissa sosiaalisen verkoston sekä tiimityöskentelyn tärkeyden. Vaikka opinnäytetyö on täysin itsenäisesti tehty, asiasta keskustellessa muiden kanssa saa helposti ideoita, ajatuksia, neuvoja sekä tietoa eri lähdemateriaaleista.

Mielestäni opinnäytetyö antaa hyvät lähtökohdat kyseisen tiepuomin toteuttamiseen. Kuitenkin suunnitelmaa voidaan vielä täydentää monelta kannalta. Projektin aikana esiin tulleiden asioiden valossa antaisin itse henkilökohtaisesti arvoa CE-merkinnän saannille, sekä syventymällä konedirektiivissä määriteltyihin turvallisuussääntöihin paremmin. Myös voimansiirron mitoittaminen olisi olennaista toteutuksen kannalta. Prosessin aikana on myös kehkeytynyt ideoita puomin avaamiseen sähkökatkoksen aikana nivelöintiä ja lukituksia soveltaen, mutta opinnäytetyön aikataulun puitteissa niitä ei tässä opinnäytetyössä käsitellä. Myös syvällisempi perehtyminen muovien ominaisuuksiin olisi ollut suotavaa. Koska projekti tullaan todennäköisesti toteuttamaan käytännössä, kehitysideat ovat kuitenkin puomin toteutuksen kannalta erittäin positiivinen asia.

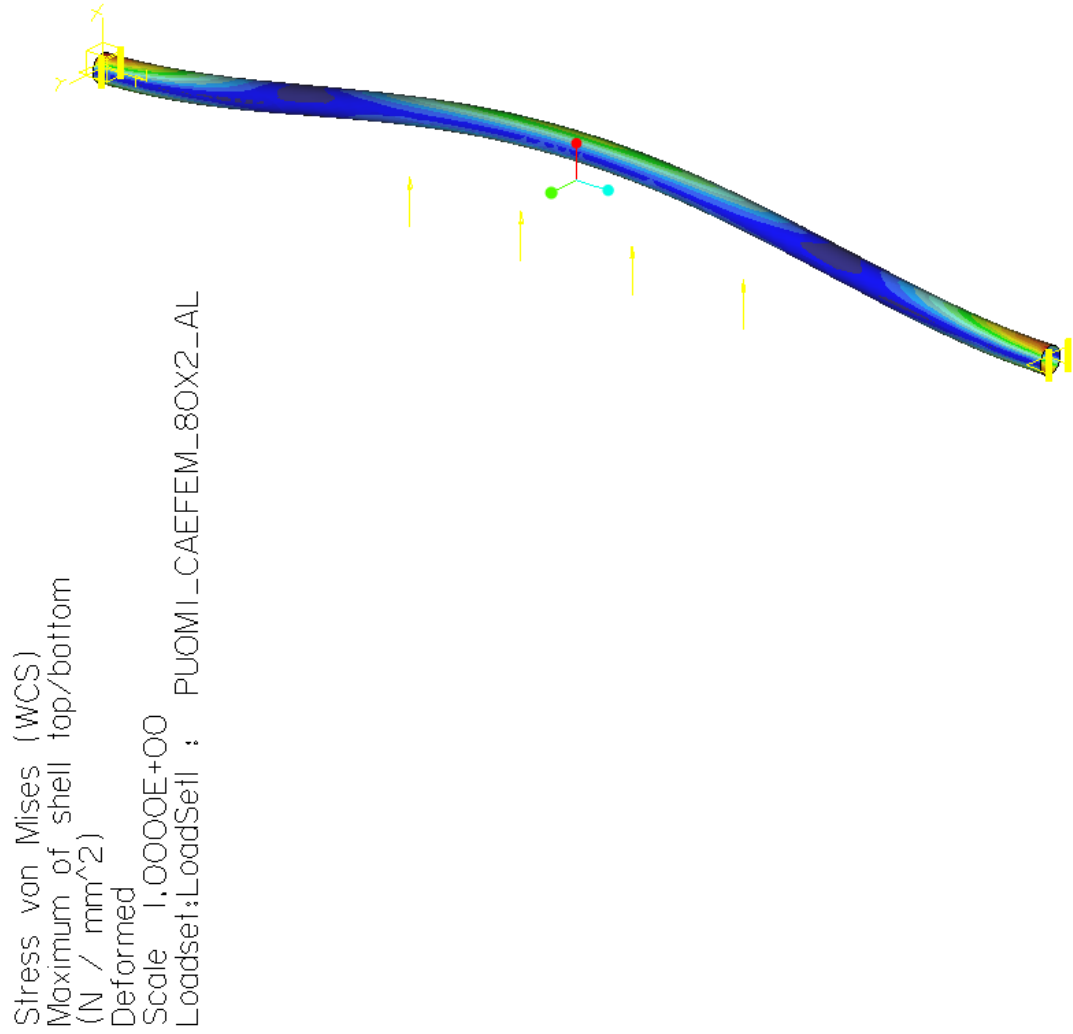
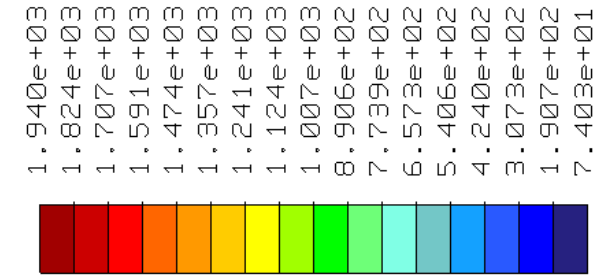
Opinnäytetyö itsessään oli mielenkiintoinen haaste. Nykyaikana varsinkin internetin ansiosta saatavilla olevan tiedon määrästä voidaan puhua jopa suorastaan tietotulvana. Kuitenkin opinnäytetyöprosessin aikana yllätyin kuinka vähän luotettavia ja ammatillisesti hyväksyttäviä tiedonlähteitä on tarjolla, vaikka epävirallisesti sama tieto voi löytyä monestakin eri lähteestä.

Jos aloittaisin vastaavan projektin tekemisen alusta asti tyhjältä pöydältä, en todennäköisesti tekisi asioita toisin. Käytännössä turhan tiedon etsiminen todennäköisesti jäisi vähemmälle, mutta omasta mielestäni pääpiirteittäin prosessi on edennyt oikeaan suuntaan.

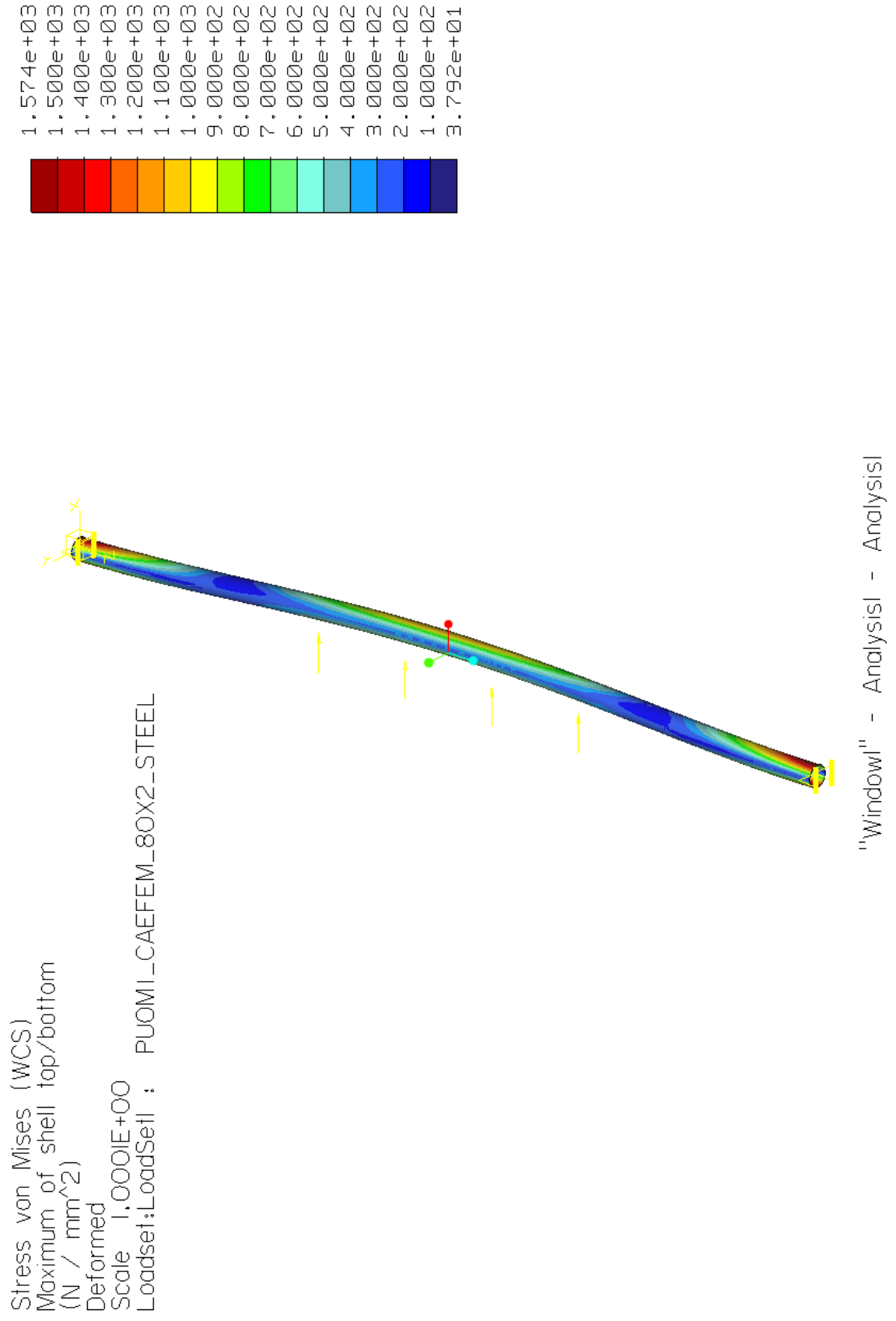
Lähteet

1. Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. 2. painos. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
2. Pur-Ait Oy. Tuotekatalogi. 2012.
http://www.purait.fi/files/File/esitteet/Purait_tuotteet.zip 12.2.2012.
3. Outinen, H. Salmi, T. Vulli, P. 2007. Lujuusopin perusteet. Tampere: Pressus Oy.
4. Tampereen teknillinen yliopisto, Materiaaliopin laitos: Alumiini. 2005.
http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_2_1.php 29.3.2012.
5. Moos. Beck. Flor. Kalb. 2008. Wagenleiter. Metallirakentajan käsikirja. Hämeenlinna : Hämeen ammattikorkeakoulu.
6. Taideteollinen korkeakoulu / muovimuotoilu. 2012. Valtamuovit.
<http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/32/63/> 1.3.2012.
7. Puuinfo Oy. 2012. Puun lujuuksitekniisiä ominaisuuksia.
<http://www.puuinfo.fi/puun-lujuuksitekniisia-ominaisuuksia> 27.2.2012.
8. Toyota Motor Corporation. 2012. Toyota Corollan tekniset tiedot.
http://www.toyota.fi/cars/new_cars/corolla/specs.aspx 1.2.2012.
9. Puranen J. 2006. Induction Motor Versus Permanent Magnet Synchronous Motor in Motion Control Applications: A Comparative Study.
<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/31238/TMP.objres.448.pdf> 3.3.2012.
10. Outinen, H. 1998. Statiikka tekniikan opiskelijoita varten. Tampere: Pressus Oy.
11. Valtanen, E. 2008. Tekniikan taulukkirja. 16 painos. Jyväskylä: Genesis-Kirjat Oy.
12. Blom, S., Lahtinen, P., Nuutio, E., Pekkola, K., Pyy, S., Rautiainen, H., Sampo, A., Seppänen, P., Suosara, E. 1999. Koneenelimet ja mekanismit. 4. painos. Helsinki: Edita Oy Ab.
13. Aldacom GmbH. 2012. Technical introduction to GSM modem technology. <http://www.aldacom.com/gsm-info/gsm-modem-technology.html> 9.4.2012.
14. Räisänen, A. 2011. Radiotekniikan perusteet. 13. painos. Helsinki: Otatieto: Gaudeamus Helsinki University Press.
15. Metalliteollisuuden kustannus. 1986. Anturit koneautomaatioissa. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
16. SFS-EN 1760-2 + A1. Koneturvallisuus. Kosketuksen tunnistavat turvalaitteet. Osa 2: Tuntoreunojen ja tuntolistojen suunnittelun ja testauksen yleiset periaatteet. SFS-Verkkokauppa, PKAMK:n lisenssillä.
17. Hirvonen, M. 2011. Ohjaustekniikan luennot ja luentomonisteet. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu.
18. Siirilä, T. 2008. Koneturvallisuus : EU:n direktiivien ja standardien soveltaminen käytännössä. Espoo: Inspecta.
19. ReeR SpA Safety Division. 2012. ADMIRAL AX LR.
<http://www.reer.it/eng/safety/prodotti.asp?Nov=0&F=50&Ind=6>. 12.2.2012.

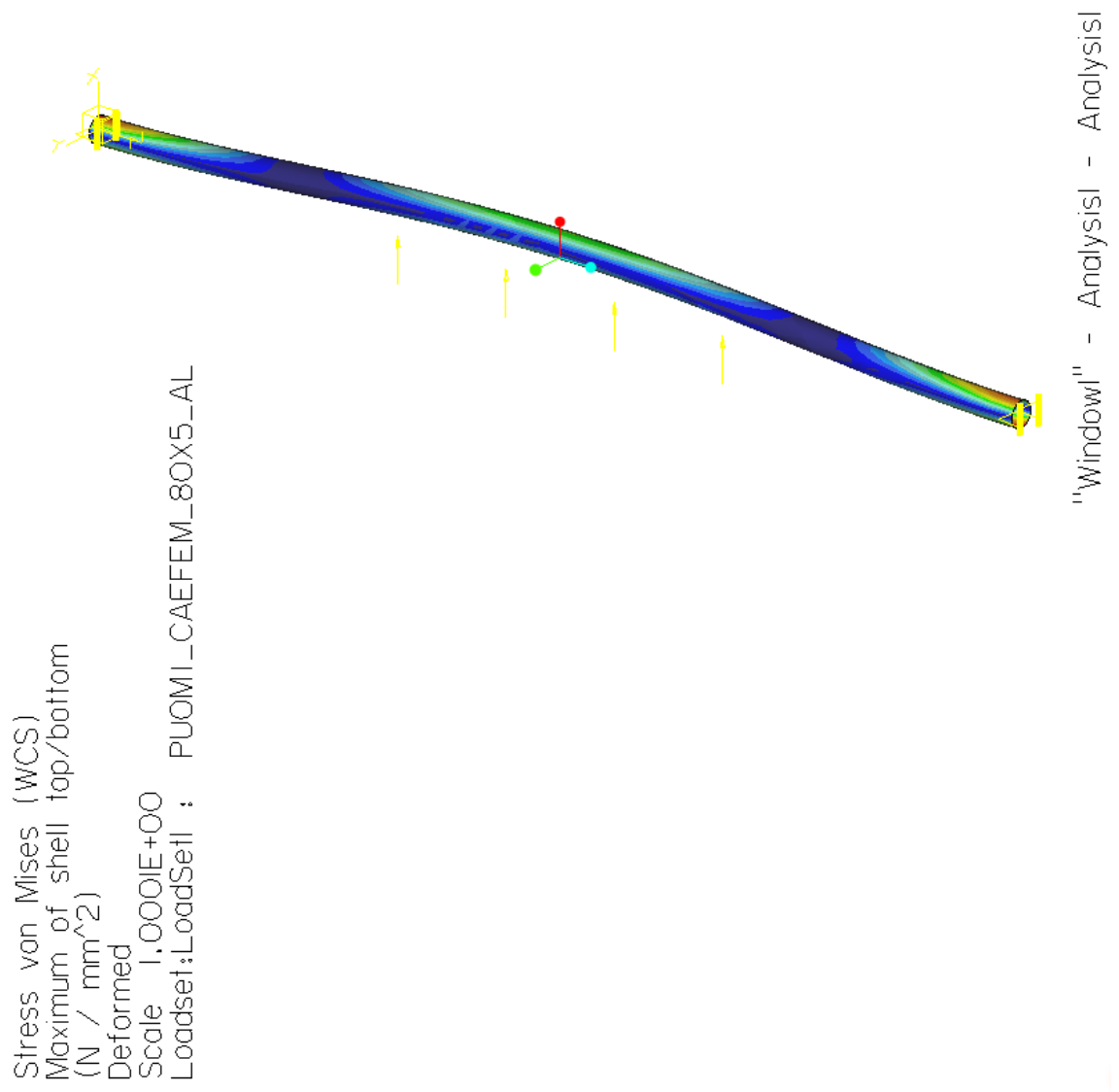
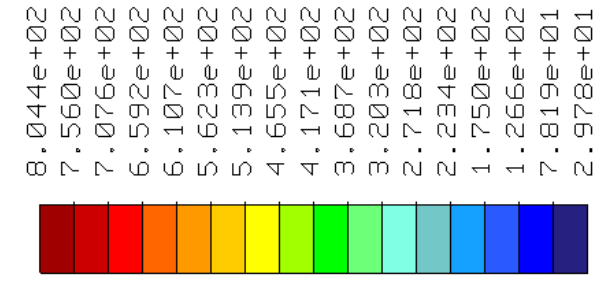
20. RFID Lab Finland ry. RFID-esite. 2012. <http://www.rfidlab.fi/rfid-tietoutta> 20.1.2012.
21. IDC Technologies. Intro to PLC´s. 2006. http://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/instrumentation/IntrotoPLCs.pdf 2.4.2012.
22. Saastamoinen, A. 2009. Sähköasennukset 2. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.
23. SFS-EN 60529 + A1. Sähkölaitteiden kotelointiluokat (IP-koodi). SFS-Verkkokauppa, PKAMK:n lisenssillä.
24. SFS 6000-8-804. Pienjännitesähköasennukset. Osa 8-804: Kuivat, kosteat ja märät tilat sekä ulkotilat. SFS-Verkkokauppa, PKAMK:n lisenssillä.
25. Aura, L. Tonteri, A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Helsinki: WSOY.
26. Tiainen, E. 2010. Kemian luennot ja luentomonisteet. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu.



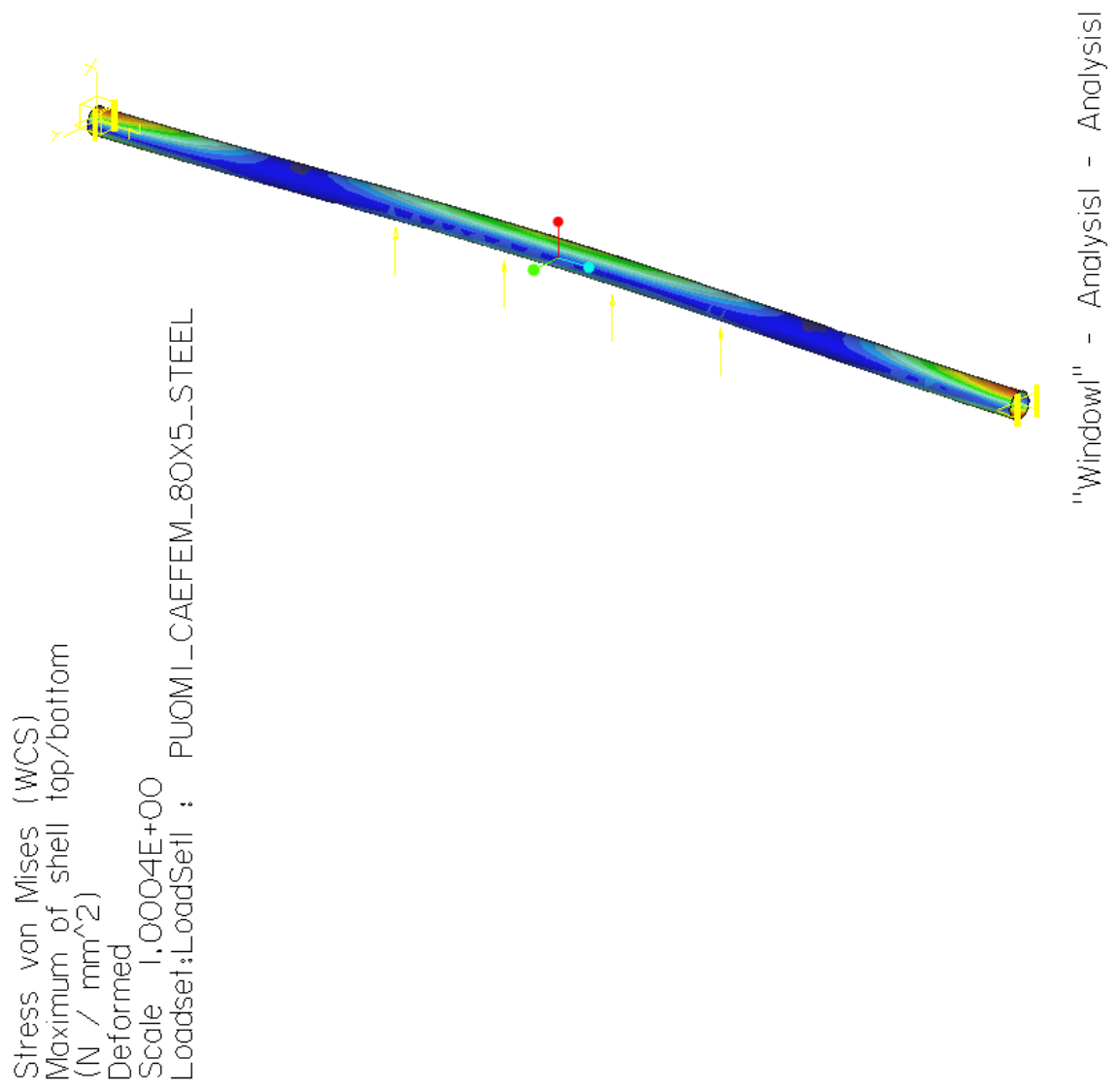
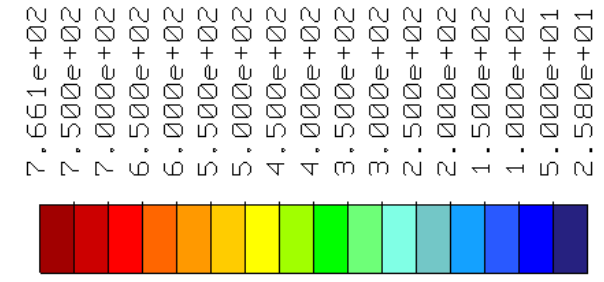
Name	Value	Convergence
max_disp_mag	1.887272e+02	0.2%
max_disp_x	1.887272e+02	0.2%
max_disp_y	4.429015e+00	100.0%
max_disp_z	-7.485184e+00	100.0%
max_prin_mag	2.198704e+03	7.9%
max_rot_mag	2.599293e-01	1.8%
max_rot_x	8.785863e-02	100.0%
max_rot_y	2.100841e-01	100.0%
max_rot_z	2.018612e-01	0.7%
max_stress_prin	2.198704e+03	7.9%
max_stress_vm	1.940475e+03	7.9%
max_stress_xx	-3.690055e+02	25.2%
max_stress_xy	3.044127e+02	5.2%
max_stress_xz	-1.997338e+02	7.5%
max_stress_yy	-1.011324e+03	38.9%
max_stress_yz	-1.224215e+02	0.6%
max_stress_zz	2.198697e+03	7.9%
min_stress_prin	-2.142157e+03	7.6%
strain_energy	1.795014e+06	0.2%



Name	Value	Convergence
max_disp_mag	6.906675e+01	0.1%
max_disp_x	6.906672e+01	0.1%
max_disp_y	1.680048e+00	100.0%
max_disp_z	-2.739552e+00	100.0%
max_prin_mag	-2.044709e+03	4.7%
max_rot_mag	9.694635e-02	1.7%
max_rot_x	2.744795e-02	100.0%
max_rot_y	7.703919e-02	100.0%
max_rot_z	7.689071e-02	0.7%
max_stress_prin	1.943939e+03	0.2%
max_stress_vm	1.832452e+03	4.7%
max_stress_xx	-3.693022e+02	25.0%
max_stress_xy	2.338354e+02	4.3%
max_stress_xz	-1.873886e+02	7.4%
max_stress_yy	-1.009779e+03	39.3%
max_stress_yz	-1.006092e+02	0.1%
max_stress_zz	-2.044633e+03	4.7%
min_stress_prin	-2.044709e+03	6.3%
strain_energy	6.570140e+05	0.2%



Name	Value	Convergence
max_disp_x	7.793352e+01	0.1%
max_disp_y	2.741276e-01	1.0%
max_disp_z	-3.068911e+00	0.0%
max_prin_mag	9.114478e+02	7.8%
max_rot_mag	8.203682e-02	1.0%
max_rot_x	1.237662e-02	100.0%
max_rot_y	-8.203676e-02	100.0%
max_rot_z	1.171907e-02	3.2%
max_stress_prin	9.114478e+02	7.8%
max_stress_vm	8.044021e+02	7.8%
max_stress_xx	1.124431e+02	6.9%
max_stress_xy	1.070547e+02	6.9%
max_stress_xz	4.629146e+01	8.5%
max_stress_yy	3.007765e+02	7.8%
max_stress_yz	1.389325e+02	21.2%
max_stress_zz	9.114438e+02	7.8%
min_stress_prin	-7.629822e+02	4.6%
strain_energy	7.374655e+05	0.1%
max_disp_x	7.793352e+01	0.1%



Name	Value	Convergence
max_disp_mag:	2.848629e+01	0.1%
max_disp_x:	2.848628e+01	0.1%
max_disp_y:	-1.008464e-01	100.0%
max_disp_z:	1.122232e+00	0.2%
max_prin_mag:	8.550097e+02	6.8%
max_rot_mag:	2.991075e-02	0.5%
max_rot_x:	-2.014625e-03	100.0%
max_rot_y:	2.991009e-02	0.5%
max_rot_z:	-4.379532e-03	100.0%
max_stress_prin:	8.550097e+02	6.8%
max_stress_vm:	7.661288e+02	6.8%
max_stress_xx:	8.827625e+01	13.4%
max_stress_xy:	8.881832e+01	6.2%
max_stress_xz:	4.673521e+01	45.7%
max_stress_yy:	2.308526e+02	6.8%
max_stress_yz:	-6.961661e+01	6.1%
max_stress_zz:	8.550096e+02	6.8%
min_stress_prin:	-7.612734e+02	3.9%
strain_energy:	2.695807e+05	0.2%

Name	Data Type	Addr...	Comment
Rajakytkin_Ala	BOOL	0.00	Puomin ollessa alhaalla voimassa oleva rajakytkin
Rajakytkin_Yla	BOOL	0.01	Puomin ollessa yläasennossa voimassa oleva rajakytkin
Puomi_Anturi1	BOOL	0.02	Puomin turvareuna, saadaan tieto jos turvareuna koskettaa johonkin
Puomi_Anturi2	BOOL	0.03	Puomissa oleva induktio-anturi, ilmoittaa jos puomin alla jotakin metallista
Ohjaus_Anturi1	BOOL	0.04	Automaattisen ohjauksen käynnistävä anturi 1
Ohjaus_Anturi2	BOOL	0.05	Automaattisen ohjauksen käynnistävä anturi 2
Ohjaus_Man1	BOOL	0.06	Manuaalisesti ohjattu puomin aukaisu 1
Ohjaus_Man2	BOOL	0.07	Manuaalisesti ohjattu puomin aukaisu 2
Lukko_Raja_0	BOOL	0.08	Lukitusymlinterin sisäraja (lukko auki)
Lukko_Raja_1	BOOL	0.09	Lukitusymlinterin ulkoraja (lukko kiinni)
HStopKytkin	BOOL	1.00	Hätäpysäytyksen kytkin
Lukkositynteri_Ulos	BOOL	10.00	Puomin päätyosan lukitseva sylinterin ajo ulos
Lukkositynteri_Sisaan	BOOL	10.01	Puomin päätyosan lukitsevan sylinterin ajo sisään
Puomi_Ohjaus_Ylos	BOOL	11.00	Puomin ohjaus (manuaalinen ylös)
Puomi_Ohjaus_Alas	BOOL	11.01	Puomin ohjaus (manuaalinen alas)
Varoitusvalot	BOOL	11.02	Puomin liikettä indikoivat varoitusvalot
ApumHataPaluu_Timer	BOOL	20.00	Apumuisti hätäpaluun ajastimen päällä pitämiseen
ApumHataPaluu	BOOL	20.01	Jos jotakin alla ohjattaessa alas, puomi ohjataan takaisin yläasenteeseen
KäyntiVapaa	BOOL	30.00	Puomia voidaan ohjata, ei vaaratilanteita tai esteitä
Puomi_Ohjaus	BOOL	30.01	Puomin ohjaus
Viive	BOOL	TIM001	Jos puomi jää keskelle, eikä liiku minuutin kuluessa minnekkään, ajo ylös
Viive2	BOOL	TIM002	Jos jotakin alla puomin mennessä kiinni, 3 sek. viiveen jälkeen ajo ylös

